

Абу
Райхан
Бируни

973

1048



5¹⁹⁷³

ЗЕМЛЯ
И

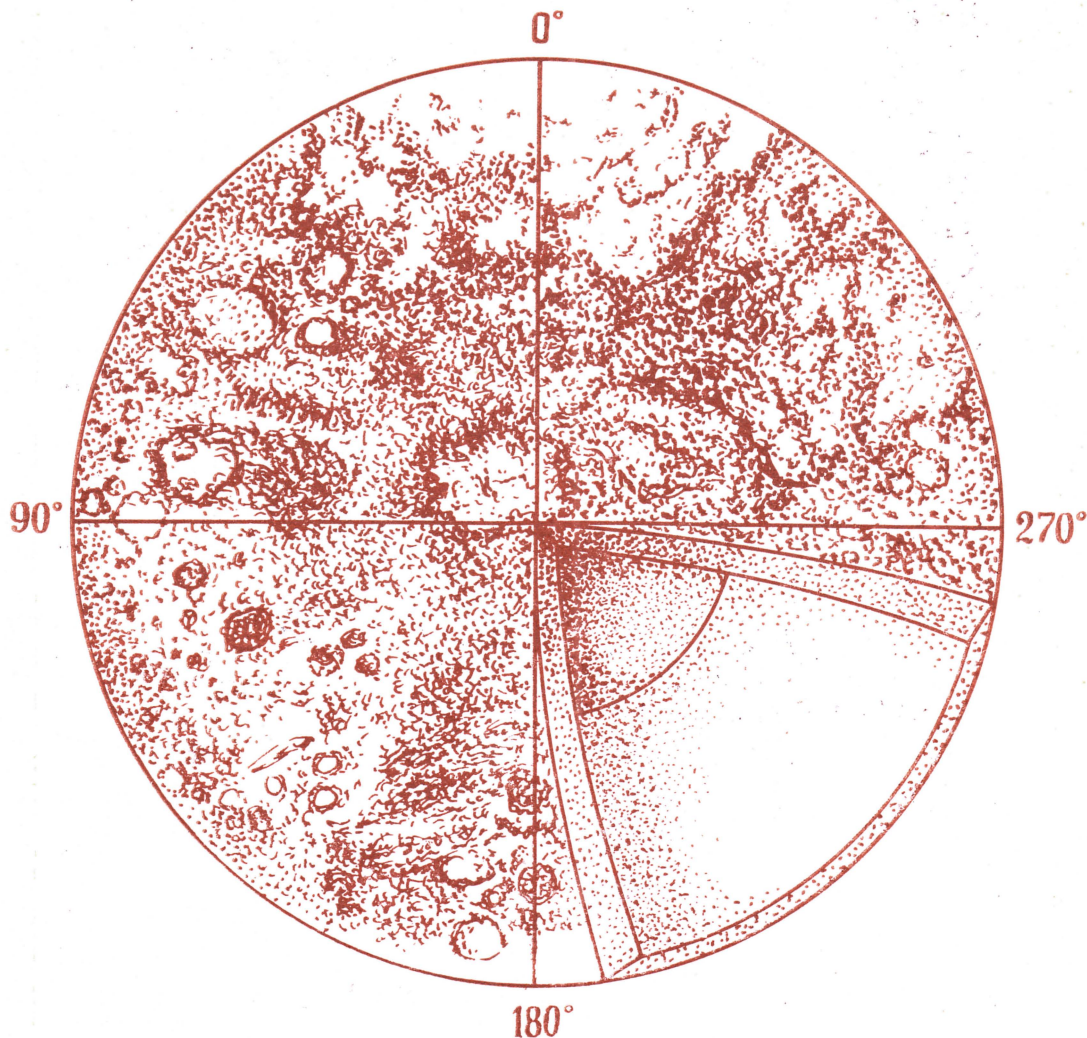
ВСЕЛЕННАЯ

АСТРОНОМИЯ · ГЕОФИЗИКА
ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Исследования Марса продолжаются

В июле — августе 1973 года к планете Марс стартовали советские автоматические межпланетные станции «Марс-4», «Марс-5», «Марс-6», «Марс-7».

Пройдя огромный путь, станции в феврале — марте 1974 года достигнут окрестностей Марса и позволят получить более полные данные о планете и окружающем ее пространстве. На страницах этого номера журнала известные советские и зарубежные ученые знакомят читателей с современными представлениями о Марсе.



Внутреннее строение Марса (к статье С. В. Козловской)

Научно-популярный
журнал
Академии наук СССР
Основан в 1965 году
Выходит 6 раз в год
Издательство «Наука»
Москва

5 СЕНТЯБРЬ ОКТАБРЬ 1973 ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

В номере:

В. И. Мороз, Л. В. Ксанфомалити — Марс без легенд	2
К. Саган — Марс с «Маринера-9»	8
Г. С. Голицын — Нижняя атмосфера Марса	17
С. В. Козловская — Внутреннее строение и химический состав Марса	21
Ш. Ш. Долгинов — Есть ли у Марса магнитное поле?	25
Д. Ю. Гольдовский — Научные итоги программы «Аполлон»	30
Н. А. Чуйкова — Фигура Луны	34
И. Н. Галкин — Лунный сейсмический эксперимент	40
М. С. Фролов — Затмения пульсирующих звезд	50
К 1000-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АБУ РАЙХАНА БИРУНИ	
П. Н. Федосеев — Бируни — великий ученый и гуманист	54
К. Н. Нарходжаев — Жизнь Бируни	57
А. И. Еремеева — Бируни — исследователь и историк науки	60
Б. А. Розенфельд, А. К. Таги-Заде — Астролябии Бируни	69
СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ	
В. А. Бронштэн — Всесоюзная астрономо-геодезическая конференция	72
Л. С. Хренов — Обсуждение проблем геодезии	74
АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ	
К. А. Куликов — Преподаватели астрономии педагогических институ- тов повышают квалификацию	78
ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ	
А. М. Бахарев, В. М. Чернов — Прохождение Меркурия по диску Солнца 10 ноября 1973 года	79
НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ	
Яркая комета наступающей зимы [24]; Первый экипаж «Скайлэба» [33, 46]; «Интеркосмос Коперник-500» [39]; Вращение Плутона [49]; Радиоизлучение Сверхновой звезды [53].	

1971 и 1972 годы можно считать «годами Марса», настолько обширную научную информацию передали советский «Марс-3» и американский «Маринер-9». В июле и августе 1973 года запущены автоматические станции «Марс-4, -5, -6 и -7», предназначенные для продолжения исследований планеты Марс, окружающего его пространства, а также характеристик межпланетной среды.

Ниже публикуется подборка статей, посвященных итогам космических экспериментов на «Марсе-3» и «Маринере-9», а также попыткам их теоретической интерпретации.

Буря надвигалась. Сначала на краю диска появилась мгла, скрывая под собой тысячекилометровые просторы планеты. Потом пылевые облака закрыли весь экваториальный пояс и распространились к полярным областям. Буря поднимала в атмосферу миллиард тонн пыли. На самой планете буря представляла, вероятно, феерическое зрелище. Яркое освещенное Солнцем красные равнины, холмы и долины. Черные тени в глубоких оврагах и кратерах. И по темно-фиолетовому небу быстро мчатся кирпично-красные облака и облачные гряды. Сейчас представляется весьма сомнительным, чтобы этой картиной любовались какие-нибудь разумные марсианские существа. А ведь совсем недавно человеческая фантазия наделяла Марс высшими формами жизни. Одной из задач полета советской межпланетной автоматической станции «Марс-3» и было изучение физических условий, которые определяют возможность жизнедеятельности организмов.

Автоматическая станция, выйдя на орбиту вокруг Марса, увидела мутный, красноватый диск. В своем движении по вытянутой орбите планета приближалась к точке перигелия. Расстояние до Солнца уменьшилось почти до 200 млн. км. Долгая и холодная зима длилась 182 дня, но теперь планета быстро разогревается. Когда планета находится в перигелии, в

Доктор физико-математических наук
В. И. МОРОЗ
Кандидат физико-математических наук
Л. В. КСАНФОМАЛИТИ

Марс без легенд

южном полушарии лето. Марс получает значительно больше солнечной энергии, возникают сильные ветры, которые, по-видимому, и приводят к началу пылевой бури. Подсчитано, что при малой плотности марсианской углекислотной атмосферы скорость ветра должна составлять не менее 30—50 м/сек для того, чтобы пыль с поверхности поднималась в атмосферу. Не исключено, что в этом процессе участвуют мощные вихри.

Орбита «Марса-3» очень вытянута: если в периапии (максимальном приближении к планете), когда проводились сеансы научных измерений, станция находилась от Марса всего в 1000—1600 км, то в максимальном удалении уходила от него более чем на 200 тыс. км. Период обращения автоматической станции вокруг Марса несколько превышал 12 суток. Такая орбита позволяла исследовать околопланетное пространство до очень больших высот.

В первой половине декабря 1971 года автоматическая обсерватория «Марс-3» начала свою работу. За четыре месяца работы «Марса-3», с декабря 1971 по март 1972 года, были изучены семь трасс на поверхности планеты. Эти трассы (их называют подспутниковыми) каждый раз сдвигались примерно на 90° к западу по ареографической долготе, благодаря чему удалось провести наблюдения примерно одних и тех же районов во время пылевой бури и после нее. Длительность прохождения периапеса составляла более 30 минут, при этом оси приборов как бы пересекали планету приблизительно посередине большого круга.

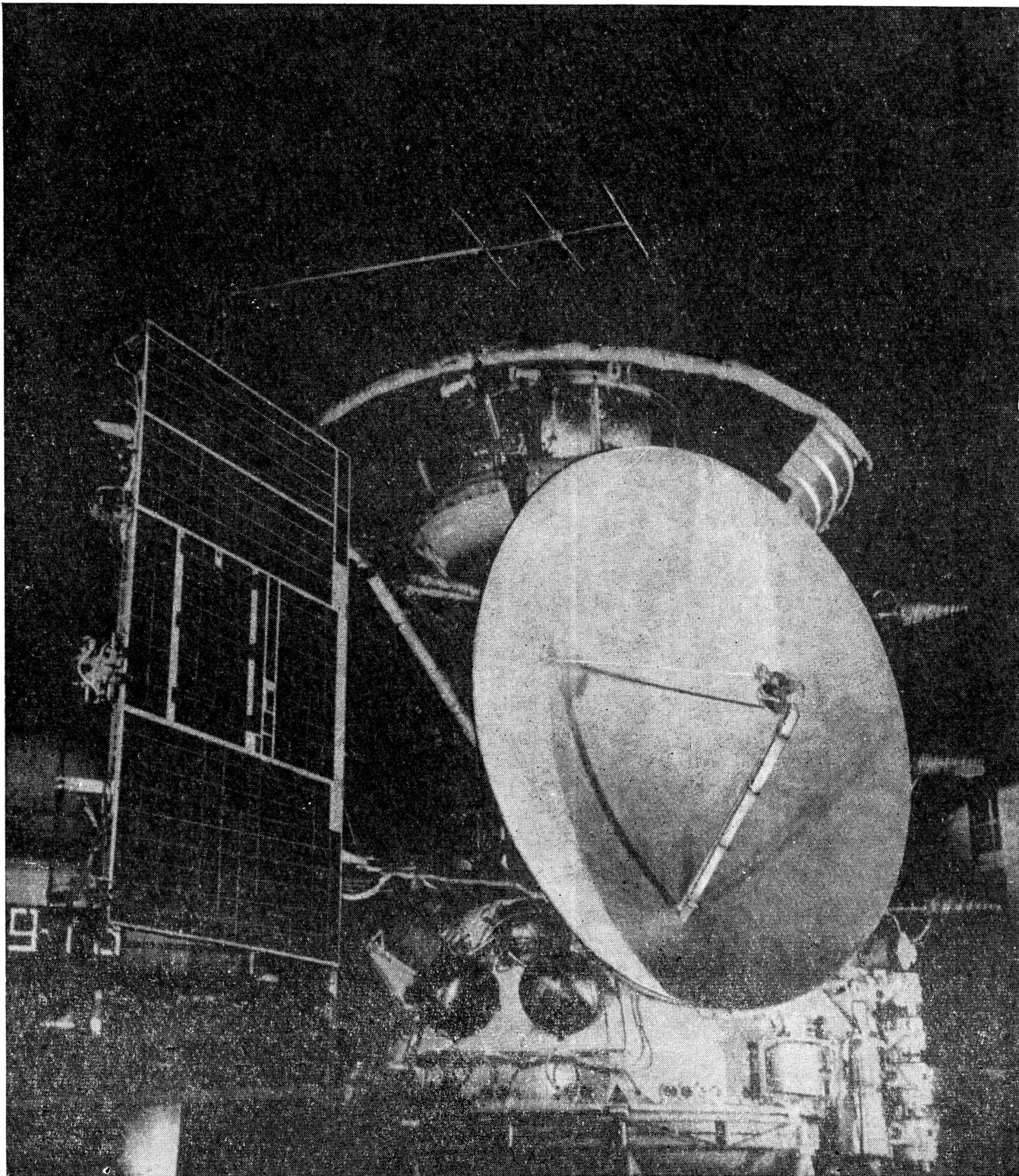
Первые же измерения обнаружили

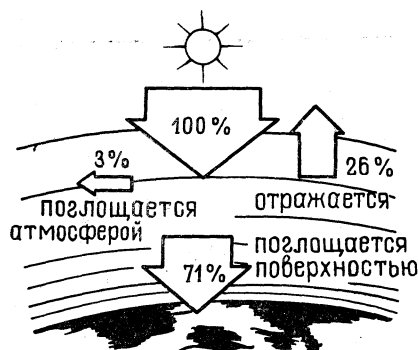
резкую перемену теплового режима планеты, вызванную пылевой бурей. Мощные облака практически перекрыли приток солнечной энергии к поверхности, и ее температура стала быстро падать. Максимальные температуры снизились на 30—50°. Вместе с тем, начался разогрев атмосферы за счет перехвата солнечных лучей пылью в атмосфере. Одновременно с работой «Марса-3» проводились астрофизические измерения американским аппаратом «Маринер-9». Обработывая наблюдения, выполненные его инфракрасным спектрометром, ученым удалось установить, что нормальный температурный профиль атмосферы был резко нарушен и приближался к изотермическому.

Уже в конце января 1972 года следы бури исчезли. Но астрофизики, принимавшие участие в эксперименте, не могли этого знать заранее. Неудивительно, что конец 1971 и начало 1972 года принесли много волнений. Но, как говорится, нет худа без добра. Случай предоставил исключительную возможность детально исследовать пылевую бурю, о которой, кстати, и сейчас известно далеко не все.

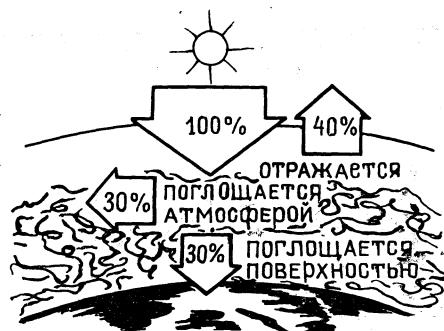
Прежде всего была предпринята попытка оценить размер частиц, составляющих пылевое облако. Для оценки привлекли измерения, сделанные радиометром и фотометрами видимого и инфракрасного диапазонов. И вот оказалось, что на длине волны 0,7 мкм оптическая толщина облаков (то есть величина, пропорцио-

■
«Марс-3» на сборочной площадке





ПРИ ЯСНОМ НЕБЕ



ВО ВРЕМЯ ПЫЛЕВОЙ БУРИ

нальная количеству поглощающего вещества на пути луча света) превышает 6, на волне 1,4 мк — около 3, а в области 8—40 мк пылевые облака практически прозрачны. Даже если бы длины волн подбирались специально для исследования пылевой бури, результат не мог стать лучше. Теперь, сделав некоторые допущения, нашли размер частиц. Можно предположить, что полученные данные о прозрачности атмосферы — это три уже известные буквы из строки кроссворда. Независимую оценку дает время жизни пылевой бури — около 50—100 суток. Теория позволяет вычислить, сколько времени частица определенного размера падает на поверхность с заданной высоты. Высоту верхней границы пылеоблачного слоя помог определить четвертый прибор научного комплекса «Марса-3» — фотометр, работающий на длине волны 2,06 мк, который позволял вычислить эквивалентную ширину полосы CO₂, пропорциональную количеству углекислого газа на луче зрения, а по ней найти, на уровне какого давления находится отражающая свет поверхность. Удалось установить, что верхняя граница облаков очень неровная и располагается на высотах 7—15 км над поверхностью планеты.

Все результаты совпали. Средний размер частиц должен составлять примерно 2 мк. Инфракрасный спектрометр «Маринера-9» дал возможность угадать еще одну строку в «кроссворде»: пылевые облака Марса имеют инфракрасный спектр, характерный для силикатных частиц. Подсчитали, что разреженная атмосфера Марса в бурю поднимает и поддерживает ошеломляющее количество пыли, превышающее один миллиард тонн. Несмотря на грандиозность этой цифры, она составляет всего лишь сотые доли процента от общей массы марсианской атмосферы.

Не исключено, что экранирующее действие облаков устраняет дальнейший выброс пыли в атмосферу. Тогда последующие фазы бури должны носить более спокойный характер (мелкий пылевой дождь). Активная фаза бури, как показали наблюдения, развивалась несколько раз.

Эффект, который можно назвать «антипарниковым», — одно из самых интересных явлений, связанных с бурей. Как известно, парниковым называется эффект накопления полученного от Солнца тепла за счет резкого различия поглощения в атмосфере для видимой и дальней инфракрасной областей спектра. Парниковый эффект наблюдается в атмосфере Венеры. Марсианские пылевые облака, наоборот, непрозрачны для входящего и прозрачны для уходящего излучения. Поверхность планеты выстуживается.

По тому, насколько быстро прогревается и отдает тепло поверхность планеты, можно определить коэффициент тепловой инерции. Плотная скальная порода с коэффициентом тепловой инерции 0,060 прогревается с большим запаздыванием, чем поверхность мелкоизмельченной пыли, у которой коэффициент составляет 0,006. Зато после захода Солнца плохая теплопроводность и малая теплоемкость пыли приводят к быстрому остыванию ее поверхностных слоев, хотя уже на небольшой глубине температура может изменяться слабо. Для скальной же породы приток тепла из глубины будет достаточно сильным, поэтому радиометр должен «увидеть» яркие тепловые «пятна» на окружающем более холодном фоне. Именно такое «пятно» было обнаружено в первом же сеансе измерений «Марса-3». Довольно протяженная темная область Cerberus оказалась заметно теплее окружающего района, она, по-видимому, имеет другую структуру поверхности или другое строение. Кстати, глубинное строение Марса, вероятно, очень неоднородно: неоднородное поле тяготения выдает присутствие ряда отдельных гравитирующих масс под поверхностью планеты. Это было показано анализом эволюции орбиты «Маринера-9».

Температурный разрез (трасса 28 февраля 1972 года) подтверждает, что коэффициент тепловой инерции 0,006, принятый в расчетах, достаточно близок к полученным данным. (Разрез пересек край северной полярной шапки около 45° с. ш.) Температура упала ниже 160° К, и это — температура поверхности, а не мо-

Баланс энергии, получаемой Марсом от Солнца при ясном небе и во время пылевой бури

роznego тумана в атмосфере. Тогда же фотометр видимого диапазона зарегистрировал значительное возрастание яркости по сравнению с более низкими широтами.

В разгар пылевой бури на большой высоте (вероятно, выше 20 км) вблизи экваториальной зоны появились облака, простирающиеся на расстояние тысячи километров. Они хорошо заметны на ультрафиолетовых фотометрических профилях, полученных на длине волны 3600 Å, и совершенно не видны в зеленых и красных лучах. Эти облака условно названы «ультрафиолетовыми». Весьма вероятна конденсационная природа их происхождения. Кристаллы, составляющие «ультрафиолетовое» облако, должны быть очень мелкими (около 0,1—0,2 мк). Столь мелкие частицы пыли, оседавшие существенно медленнее более крупных, в заключительной стадии пылевой бури могли вызвать аналогичный эффект. Интересно отметить, что после бури подобные облака больше не наблюдались (за одним исключением).

Когда пыль немного улеглась, в атмосфере Марса появились облака, конденсационная природа которых не вызывала сомнений. Первые же наблюдения сканирующим фотометром чавели на мысль, что край облака состоит из чередующихся облачных полос с промежутками. Впоследствии изображения облака с такой структурой передал «Маринер-9».

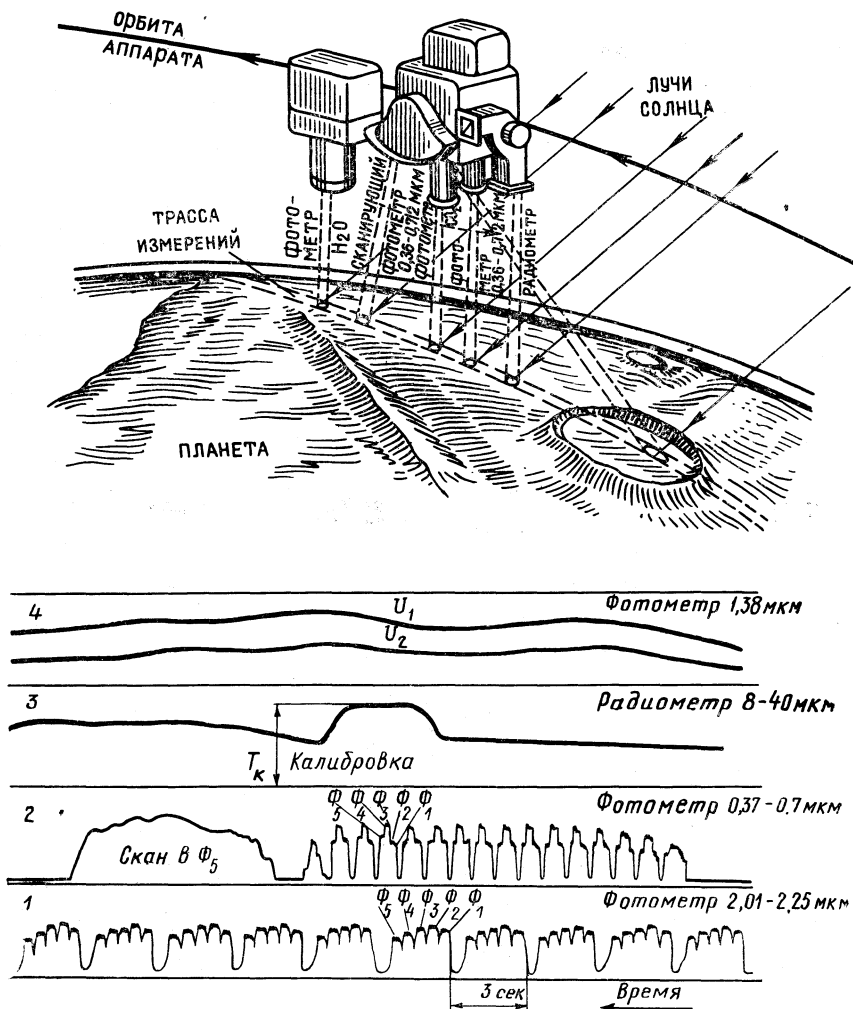
Содержание водяного пара в атмосфере Марса с декабря 1971 по март 1972 года было очень низким. Так, 28 февраля максимальное количество осажженной воды (то есть условно сконденсированный водяной

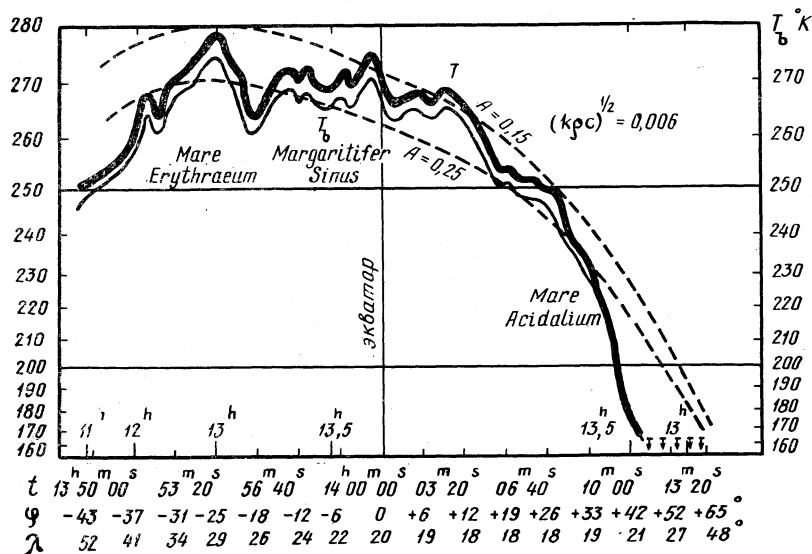
пар в столбе атмосферы) было менее 5 мк, а в области полярной шапки упало ниже 1 мк. Наибольшее содержание воды отмечалось в экваториальных областях. На всех трассах

Приборы, установленные на искусственном спутнике «Марс-3». Комплект составляли инфракрасный радиометр для измерения температуры поверхности и три фотометра. Один из них углекислотный (2,06 мк), предназначенный для изучения рельефа местности, другой — инфракрасный (1,38 мк) — для определения количества осажженной воды в атмосфере и третий — фотометр ви-

димого диапазона спектра (0,37—0,72 мк) — для изучения атмосферы и поверхности планеты. Оптические оси всех приборов параллельны. Ось последнего фотометра имеет сканирующее движение в плоскости орбиты

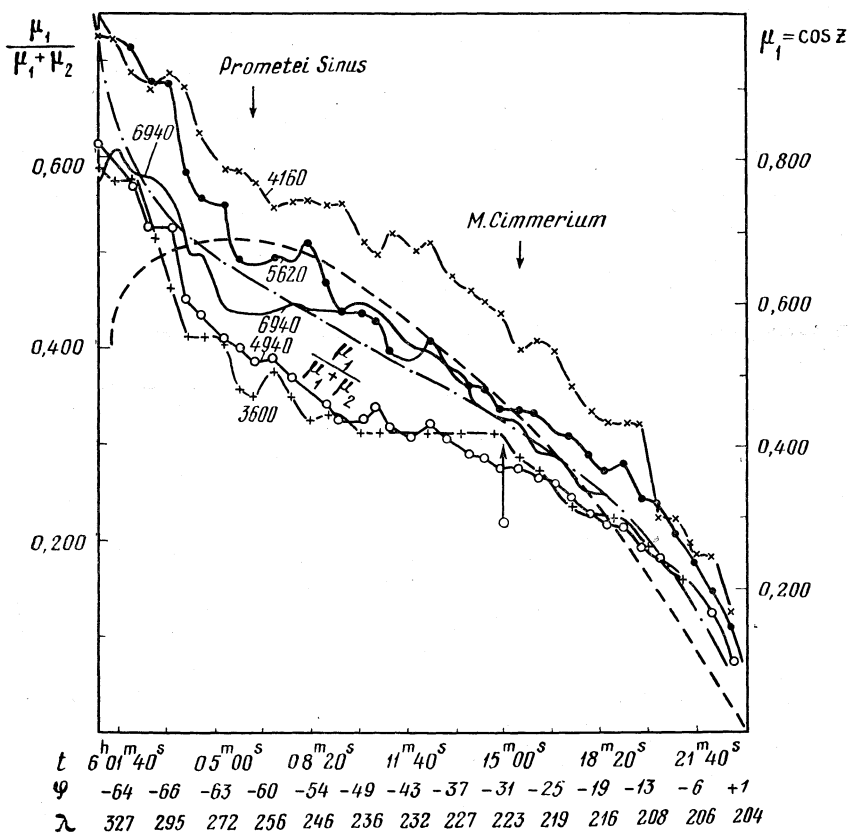
Пример телеметрической записи показаний приборов фотометрического комплекса «Марс-3»: 1 — измерение яркости при смене фильтров в углекислотном фотометре; 2 — два режима работы фотометра видимого диапазона; 3 — измерение яркостной температуры поверхности; 4 — изменения в сигнале измерителя влажности





с 15 декабря по 28 февраля содержание осажденной воды в вертикальном столбе оставалось в пределах нескольких микрон.

Данные о содержании воды (декабрь и начало января) не очень показательны, так как в это время было еще слишком много пыли. Однако содержание оставалось малым и в феврале. Увеличение началось только в марте. О больших колебаниях воды в атмосфере Марса известно по наземным наблюдениям. В некоторых случаях астрономы получали 50 мк, а в иных не обнаруживали ничего (то есть содержание паров воды оказывалось ниже инструментального предела, составляющего около 10 мк для наземной спектроскопии). Во время прежних противостояний было сделано много опре-



Изменения температуры вдоль трассы 28 февраля 1972 года

Фотометрический разрез вдоль трассы 15 декабря 1971 года в пяти длинах волн. По горизонтали — время наблюдений (московское) и координаты наблюдаемой точки. Стрелка указывает край «ультрафиолетового» облака. Пунктирная кривая дает теоретическое значение яркости для рассеивающей свет твердой поверхности, а штрих-пунктирная построена по закону для оптически толстого слоя сильно поглощающих частиц в атмосфере. В области 3 600—5 000 Å последний закон довольно близок к наблюдениям. Фотометрические профили в красных и зеленых лучах этим приближениям не удовлетворяют



делений с конечным результатом 25—35 мк осажженной воды.

Таким образом, измерения «Марса-3» показали, что в декабре, январе и феврале атмосфера Марса была более сухой, чем обычно. Возможно, уменьшение влажности связано с сезоном. По времени оно совпало с пылевой бурей. Неясно, является ли это совпадение случайным. Существенно, что не найдено пока сильных локальных флуктуаций содержания H_2O в атмосфере — «оазисов» с повышенной влажностью. Отмечены только относительно плавные изменения влажности по трассе, если не считать скачка в области северной полярной шапки. Наблюдающееся уменьшение влажности атмосферы сопровождалось уменьшением плотности очень разреженной водородной оболочки планеты — водородной короны.

Вода в жидкой фазе на поверхности Марса практически не может существовать: она или замерзает, или вскипает. Это давно известно. Но на некоторых снимках, переданных «Маринером-9», обнаружены извилистые борозды, очень напоминающие сухие русла рек. Это — сенсационное открытие. Видимо, еще недавно (в геологических масштабах времени) на поверхности Марса, а следовательно, и в его атмосфере присутствовала жидкая вода. Значит и атмосферное давление было существенно выше. Объяснение, очевидно, заключается в том, что при вековых изменениях климата менялось соотношение между массами углекислого газа — газообразного и

сконденсированного в полярных шапках. Природа полярных шапок сложна: наряду с углекислотой в них находятся большие массы льда. Предполагалось даже, что один из загадочных объектов, обнаруженных на снимках «Маринера-9», не что иное, как ледник.

Вдоль каждой трассы «Марса-3» изучался рельеф местности. Для этой цели служил фотометр инфракрасного диапазона, измерявший поглощение солнечного света в полосе CO_2 2,06 мк. Поглощение позволяет вычислить эквивалентную ширину полосы, для чего используются данные наземной калибровки прибора, сведения о составе марсианской атмосферы, о ее шкале высот и температуре. Эквивалентная ширина дает возможность найти давление у поверхности, а различие в давлении пересчитывается в разности высот гор или глубины впадин.

16 февраля 1972 года «Марс-3» проложил трассу через южную оконечность Hellefontus, северо-восточный край Hellas, темные области Iapigia и Syrtis Major, через Meroe и в районе Umbra захватил край северной полярной шапки. Самая высокая область — Syrtis Major — около 3,5 км (уровень 6 мбар выбран в качестве опорного, или референтного), самая низкая — окраина Hellas (—1 км) и район к северу от Syrtis Major (от 0 до +1 км). Перепады высот марсианского рельефа очень велики. По снимкам «Маринера-9» были детально изучены специально выбранные объекты: гигантская рифтовая долина Coprates в области Thi-

tonius Lacus с глубиной до 3 км и горный массив Nix Olympica вулканического происхождения. Его высота превышает 10 км, а размеры существенно больше любых образований подобного рода на Земле.

Как сохраняются темные и светлые оттенки поверхности после пылевых бурь? Ведь пыль должна была бы выровнять все оттенки. Ученым, обрабатывающим материалы «Маринера-9», удалось установить, что некоторые темные пятна — это дюны из сыпучего материала, сформированные сильными ветрами. (Природа еще раз продемонстрировала свою неистощимую изобретательность!)

Последний сеанс измерений «Марс-3» провел 12 марта 1972 года. Как и в других случаях, приборы сообщили много интересного, вызывающего размышления. Но один результат проведенных измерений остается непонятным по сей день. Сканирующий фотометр ультрафиолетового диапазона зарегистрировал четко очерченный световой блик, повторяющийся при определенных углах между Солнцем, поверхностью планеты и направлением оси визирования. Блик напоминает «солнечный зайчик» на открытом водном пространстве. Но, во-первых, таких пространств на Марсе нет, во-вторых, сам ультрафиолетовый диапазон свидетельствует, что явление относится к атмосфере, возможно, даже к ее высоким слоям. Может быть, имеющиеся материалы не позволяют окончательно выяснить природу этого явления. Тогда ответ останется за Марсом, который хранит много не решенных проблем.



Профессор
К. САГАН [США]

Марс с «Маринера-9»

«Маринер-9» — первый космический аппарат на орбите другой планеты — в корне изменил наши представления о Марсе. Аппарат имел наиболее совершенное научное оборудование, которое когда-либо исследовало другую планету из космоса. Высокое разрешение инструментов, длительность их работы на орбите сделали «Маринер-9» великолепным средством для познания Марса в пространстве и времени.

Успех «Маринера-9» во многом обусловлен способностью этого аппарата «приспосабливаться» к обстоятельствам. Из шести научных экспериментов четыре управлялись программным вычислительным устройством, находившимся на борту «Маринера-9». Поэтому когда на первых телевизионных снимках предстала планета, почти вся скрытая пылевой бурей, оказалось возможным отказаться от тщательно продуманной программы и перевести космический аппарат на более высокую орбиту. Объективы телекамер охватили поверхность планеты с меньшим разрешением. Как только пылевая буря пошла на убыль, космический аппарат вернулся к предусмотренным программой съемкам Марса.

В июле 1972 года почти весь Марс был сфотографирован с разрешением 1 км. «Маринер-9» передал около 7000 фотографий, множество спектральных и других данных. Большая часть этой информации еще изучается. Таким образом, в статье обобщаются предварительные сведения

о нем. Вполне возможно, что некоторые самые волнующие результаты подтвердятся через год или позднее. Автор не касается исследований ионосферы и верхней атмосферы Марса, а также его гравитационного поля и фигуры.

НАУЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

С ареоцентрической орбиты высотой 1500 км широкоугольная камера различала на поверхности Марса детали размером 1 км, а крупномасштабная камера — 100 м. Около 1% поверхности планеты наблюдалось крупномасштабной камерой.

Ультрафиолетовый спектрометр исследовал спектр в окрестности линии Лайман- α (длины волн 1215—3400 Å) с разрешением 10 Å. Он использовался для определения структуры верхней атмосферы и температуры экзосферы, для исследования свечения марсианского неба и поисков малых составляющих атмосферы, таких как озон. Этот же прибор обеспечивал гипсометрическую съемку по различию релеевского рассеяния между возвышенными и низменными областями.

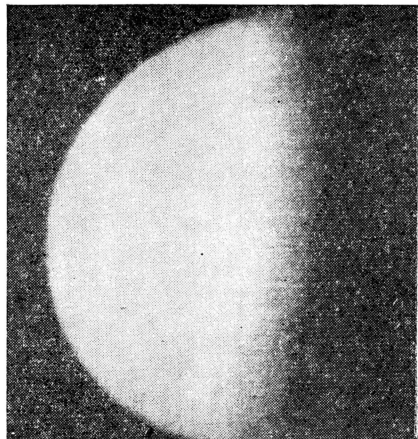
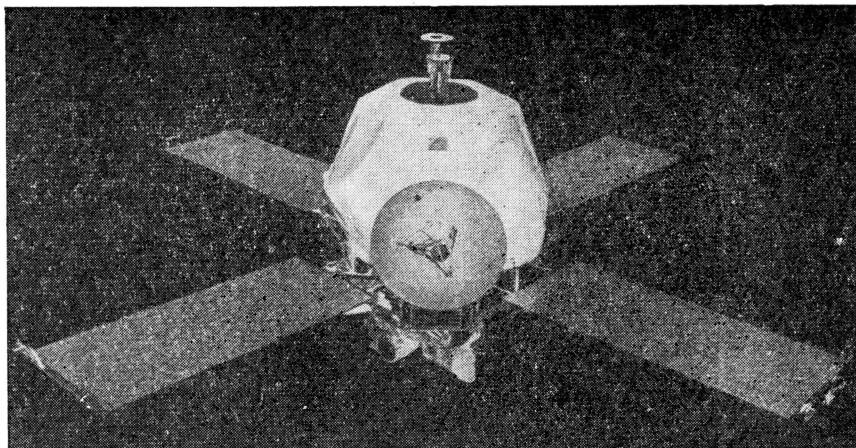
Двухканальный инфракрасный радиометр на длинах волн 10 и 20 мкм улавливал изменение температуры на $0,1^\circ$. Прибор оценивал инфракрасную яркостную температуру в зависимости от положения наблюдаемого объекта и времени суток. Эксперимент поставлял сведения о тепловых свойствах, пористости и размерах частиц поверхностного материала. Радиометр помогал также отыскивать участки с аномально высокой температурой.

Инфракрасный интерферометрический спектрометр исследовал спектр Марса в диапазоне длин волн 6—40 мкм с разрешением около 5 см^{-1} . Благодаря инверсии в 15-микронной полосе основного колебательного перехода CO_2 прибор был способен определять профили температуры и давления в атмосфере Марса. Профили давали значения поверхностного давления и характеристики атмосферных ветров. Спектрометр мог также обнаружить водяной пар в атмосфере и 10-микронную остаточную полосу силикатов, слагающих поверхность планеты.

Проводились еще два дополнительных эксперимента, которые не потребовали специальных приборов (а значит, не утяжелили космический аппарат) и лишней энергии. Обычно остронаправленная антенна служит для передачи научной и технической информации на Землю. Эта же антенна в эксперименте по радиозатмению в S-диапазоне (частоты 1550—5200 МГц.—Ред.) использовалась в течение всего движения аппарата на орбите для зондирования нейтральной и ионизированной компоненты марсианской атмосферы. К тому же, определяя, когда сигнал резко обрывался или вновь принимался на Земле, можно установить локальную топографию и фигуру Марса.

Во втором небесно-механическом эксперименте по длительной эволюции орбиты «Маринера-9» исследовалось гравитационное поле Марса и распределение вещества в его недрах. Период обращения «Маринера-9» по сильно эксцентричной орбите составлял в течение всего полета 12 часов. Следовательно, каждые сутки

«Astronautics and Aeronautics», September, 1972. Сокращенный перевод с английского Т. В. Мавриной.



станция дважды проходила через периарий (точка орбиты, ближайшая к центру притяжения.— Ред.), а информация, записанная бортовым магнитофоном, один раз принималась 210-футовой антенной в Голдстоуне.

ЧТО МЫ ЗНАЛИ РАНЬШЕ

Чтобы оценить научные результаты полета «Маринера-9», вспомним, как судили прежде об особенностях Марса. На планете различались неправильные светлые и темные области, полярные шапки в каждой полусфере, причем шапки попеременно увеличивались и убывали в зависимости от сезона, наблюдались и спорадические яркие облака, особенно заметные на лимбе.

Слабое отражение радиоволн, значительные колебания температуры в течение дня, фотометрические и поляриметрические свойства светлых областей — все указывало на то, что светлые области устланы сильно размельченным веществом; не случайно, почти столетие их называли пустынями. Темные области также покрыты пылью, но частицы здесь крупнее и, вероятно, в этих областях встречаются обширные обнажения горных пород и другие «непустынные» образования. Красноватый цвет марсианских светлых и темных областей — наиболее характерный признак малых количеств окиси железа (ржавчины).

Более ста лет визуальными наблюдениями отмечаются сезонные изменения контраста и границ темных областей. Изменения ранее толковались как биологическое явление. Полагали, что темные области покрыты растительностью, которая местной весной при увеличении температуры и влажности разрастается, а затем становится менее заметной по мере приближения суровой зимы. Согласно другому мнению, которое мои коллеги и я отстаиваем последние пять лет, подобные изменения вызваны отложением и ветровым перемещением мелкой пыли. «Маринер-9», вероятно, разрешит интригующий вопрос об интерпретации сезонных и прочих изменений на Марсе.

■ *Космический аппарат «Маринер-9». Видны остронаправленная антенна и четыре солнечные панели. Поворачивающаяся платформа в основании аппарата несет телевизионную и спектральную аппаратуру. Запущенный 30 мая 1971 года «Маринер-9» вышел на орбиту вокруг Марса 14 ноября 1971 года*

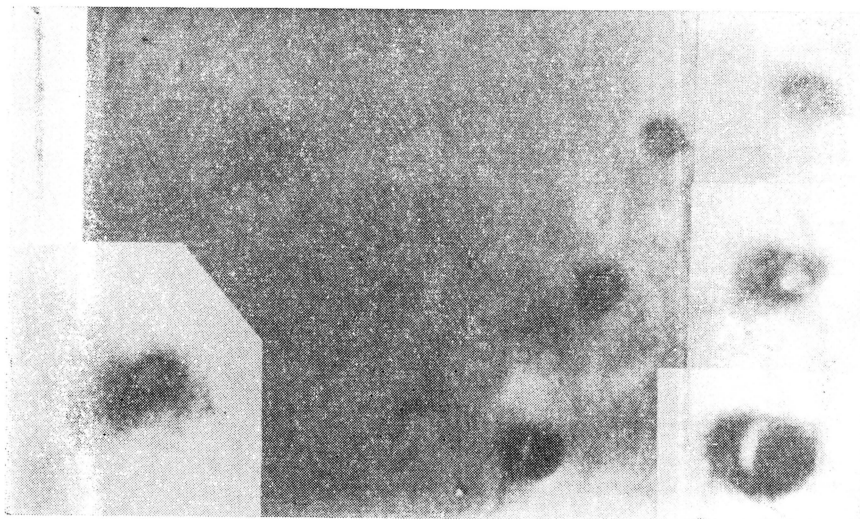
■ *Первое изображение Марса, переданное «Маринером-9». Все детали марсианской поверхности скрыты пылевой бурей*

Радиолокационные измерения обнаружили резкие колебания высот рельефа на планете — до 15 км.

Столетие назад по аналогии с Землей представлялось ясным, что полярные шапки на Марсе состоят из обычного водяного льда. Около десяти лет назад из вычислений и измерений температуры в полярных районах казалось более очевидным другое: полярные шапки содержат конденсированную двуокись углерода. В настоящее время о составе шапок нельзя говорить столь определенно. Результаты, полученные с «Маринера-9», как будто дают повод для нового суждения: в полярных шапках есть и вода, и двуокись углерода. Атмосфера Марса состоит почти целиком из двуокиси углерода, но общее содержание газа не превосходит 1% земного. Окись углерода, кислород, озон и водяной пар присутствуют в виде малых примесей.

ПЫЛЕВАЯ БУРЯ

Когда «Маринер-9» приближался к Марсу, пылевая буря лишила лик планеты характерных черт. Специальная машинная техника, увеличивающая контрасты, на первых снимках планеты сделала видимым лишь очень малое число деталей. На всех других photographиях, публикуемых в статье, контрастность также увеличена. Вероятно, эта пылевая буря самая ин-

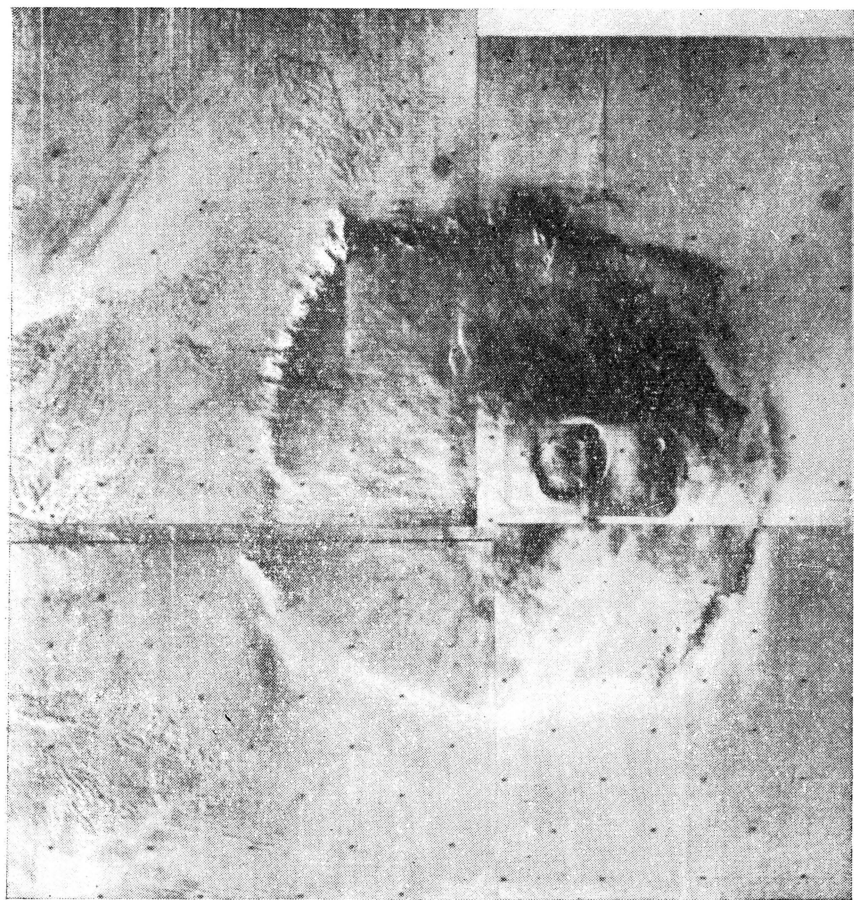


тенсивная и обширная за столетие визуальных наблюдений Марса. В первые дни 1972 года буря стала стихать, и в январе планета в основном очистилась от пылевых облаков, за исключением северной полярной области, которая освободилась от облаков в июне.

Температурные профили, полученные в начале бури из инфракрасных спектрометрических измерений и по радиозатмению в S-диапазоне, показали, что атмосфера планеты сильно нагрета и более изотермична, чем ожидалось. Как только пылевая буря пошла на убыль, температура атмосферы начала понижаться и температурный профиль приблизился (с учетом ошибок измерений) к адиабатическому. Оба эффекта можно объяснить поглощением солнечного света взвешенной пылью и возвращением атмосферы в обычное состояние прозрачности для видимого света, едва буря утихла. Марсианская пылевая буря служит естественным экспериментом по исследованию влияния на климат аэрозольных примесей в атмосфере планеты. Такой эксперимент может оказаться ре-

■
Четыре темных загадочных пятна, наблюдавшихся в начале эксперимента «Маринером-9». На фрагментах фотографии изображены эти пятна после увеличения контраста снимков

■
Nix Olympica. Эта огромная гора поперечником 500 км вдвое шире Гавайских островов — наиболее массивного вулканического конуса на Земле. Фотомонтаж сделан в январе 1972 года, когда пылевая буря утихла



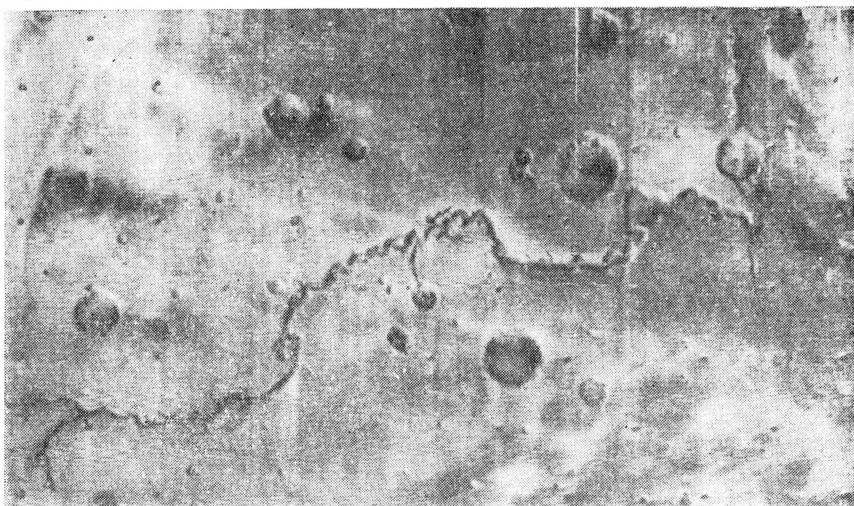
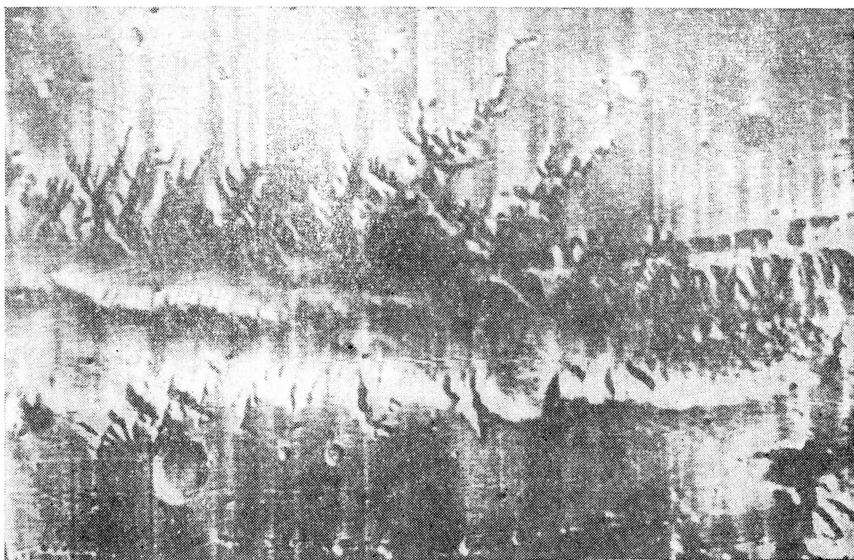
шающим в оценке теорий далеких последствий, к которым приводят промышленные загрязнения атмосферы Земли.

На фотографиях лимба Марса, сделанных в конце пылевой бури, заметны четкие атмосферные слои, которые нельзя объяснить конденсацией вещества в атмосфере. Мы можем разглядеть множество пылевых слоев — эту своеобразную запись последовательных пульсаций толщи пыли и выпадения ее из атмосферы. Стоячая волна облаков позади таких препятствий, как кратерные валы, свидетельствует о скоростях ветра больше 40 м/сек. Судить о марсианских ветрах можно по профилям давления и температуры, полученным из инфракрасных спектрометрических измерений, используя геострофическое приближение для уравнения Навье — Стокса. Такой метод указывает на скорости ветра в несколько десятков метров в секунду и на существование загадочных суточных и широтных вариаций. Действительно, по нашему мнению, чтобы вызвать перемещение пыли на Марсе, эффективная скорость ветра над поверхностным пограничным слоем должна составлять 70 м/сек. Такие сильные ветры, возможно, ограничили работу советского спускаемого аппарата «Марс-3» (начало декабря 1971 года) 20-секундным сеансом связи с поверхностью Марса. Однако спускаемая капсула «Марс-2» и спускаемый аппарат «Марс-3» — первые посланцы человечества на Марсе.

ПЕРВЫЙ ВЗГЛЯД

Как только «Маринер-9» вышел на околомарсианскую орбиту, земные наблюдатели заметили четыре тем-

ных пятна в районе, носящем название Tharsis. Если не считать южной полярной шапки, они были единственными деталями марсианского рельефа, которые удалось различить, и мы уделили им должное внимание. Не отступая от традиционной греческой и латинской номенклатуры для обозначения элементов рельефа Марса, три образования в порядке их расположения назвали Северным, Средним и Южным Пятнами. Положение четвертого пятна соответствовало знаменитому кольцевому образованию Nix Olympica — в переводе с грече-



■ Часть гигантской рифтовой долины Coprates на Марсе, простирающейся в направлении восток — запад. Параллельно ей на дне мы видим линейную область вулканических кратеров. Ветвящаяся структура наверху может быть образована потоками воды

■ Сухая речная система на Марсе. Происхождение подобных образований трудно понять, если бы не гипотеза существования русловых потоков. Центр фотографии приходится на 29° ю.ш. и 40° з.д.

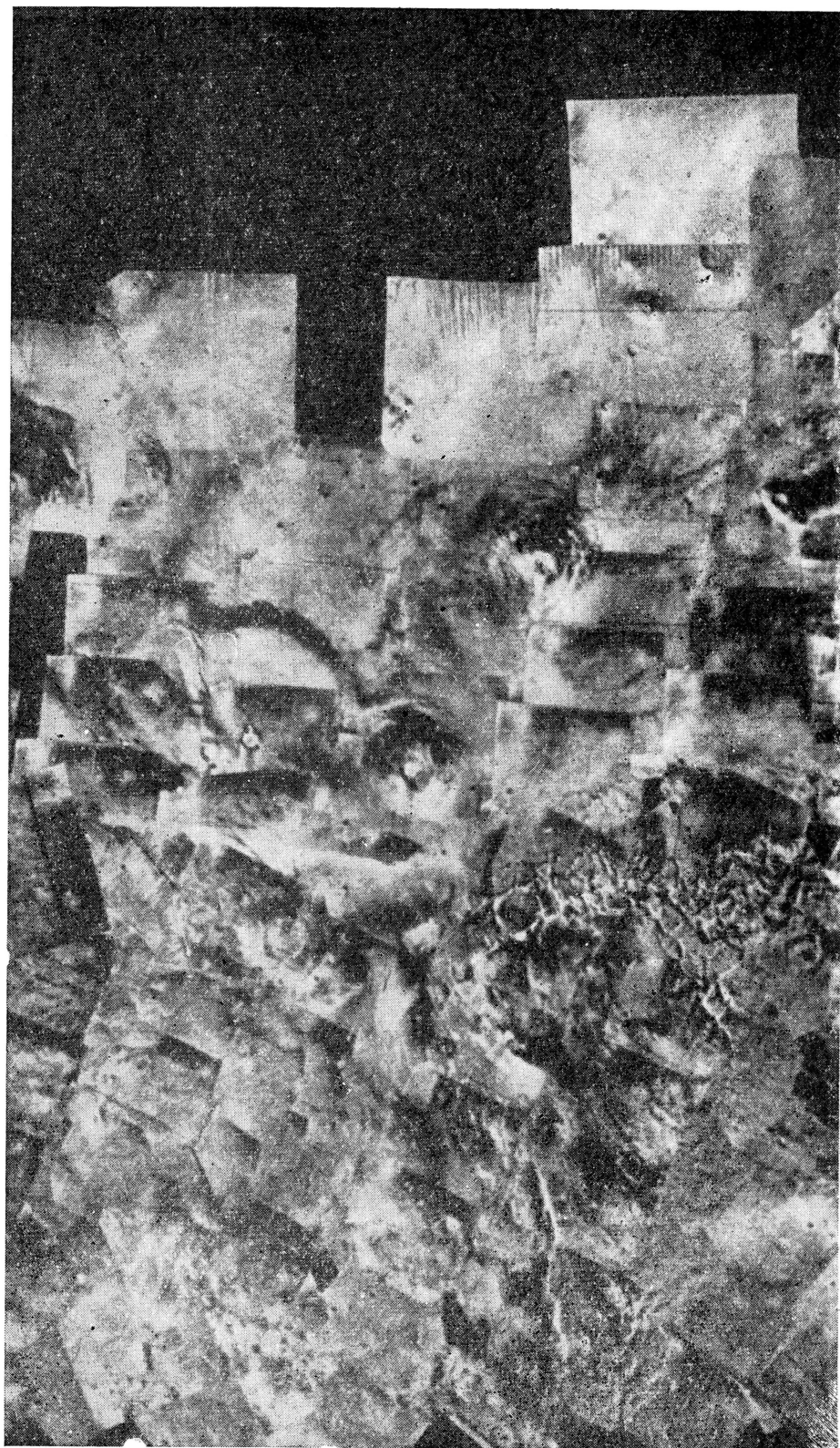
ского «Олимпийские снега». Греки оказались достаточно прозорливыми.

На первых же снимках с увеличенным контрастом появились кратерные формы. Крупномасштабная камера «Маринера-9» сняла все четыре пятна, выявив группы высокоподнятых кратеров различной формы, очень похожих на кальдеры земных вулканических щитов. Район Tharsis, как показали наземные радиолокационные наблюдения, один из высочайших на Марсе. По данным «Маринера-9», все четыре пятна приподняты на несколько километров по сравнению с соседними возвышенностями. И несмотря на внушающую подозрения аналогию с Землей, трудно предположить, что все четыре кратера образованы метеоритными ударами: метеориты будто сговорились упасть на самые высокие точки Tharsis. Гораздо вероятнее, что процесс, который вызвал поднятие, сформировал и кратеры. И это — вулканический процесс.

ЯРКИЕ ОБЛАКА НАД ГОРАМИ

Четыре кальдеры были видны в начале работы «Маринера-9», поскольку они очень высоки и немного выступали над пылевой пеленой. На первых порах проявились особенности

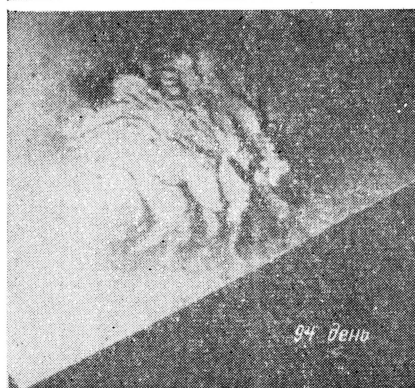
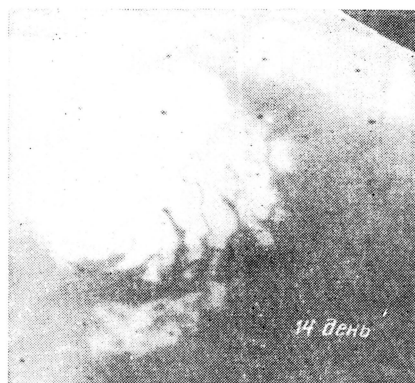
■
Марс. Монтаж из нескольких сот снимков, сделанных крупномасштабной камерой «Маринера-9» в январе 1972 года. Вверху слева — вулканические конусы в Tharsis; в центре — гигантская рифтовая долина Coprates; ниже в центре — множество светлых полос, тянущихся от кратеров; вверху справа — многочисленные извилистые каналы с притоками





вершин, склоны же скрывала пыль. Тонкая структура склонов, также как и своеобразное строение оснований кальдер, напоминает формы земного рельефа, созданные лавовыми потоками, но марсианские образования отличаются огромными размерами. Nix Olympica — самая большая вулканическая кальдера в Солнечной системе.

Признаков современной активности у этих вулканов нет. Радиометр не обнаружил увеличения температуры в Южном Пятне. Яркие облака, ассоциирующиеся с этими пятнами, давно известны наземным наблюдателям. Подобные облака у вершин вулканов не обязательно связаны с выбросом газов: охлаждение конвективной ячейки, переносящей влагу, при подъеме вдоль склона может вызвать конденсацию, достаточную для образования видимых облаков. Вулканы разрушить нетрудно. Плотность метеоритных кратеров в их окрестности наименьшая по сравнению со всей поверхностью Марса. Следовательно, вулканы очень молоды, их возраст исчисляется лишь десятками или сотнями миллионов лет. Значит, **вулканическая деятельность на Марсе протекала в геологически недавнее время** — результат, совершенно не согласующийся с общепринятым представлением о Марсе как о геологически мертвой планете. Инфракрасный интерферометрический спектрометр обнаружил в марсианском поверхностном материале $50 \pm 10\%$ кремнезема, что также указывает на геологическую активность и дифференциацию планеты.



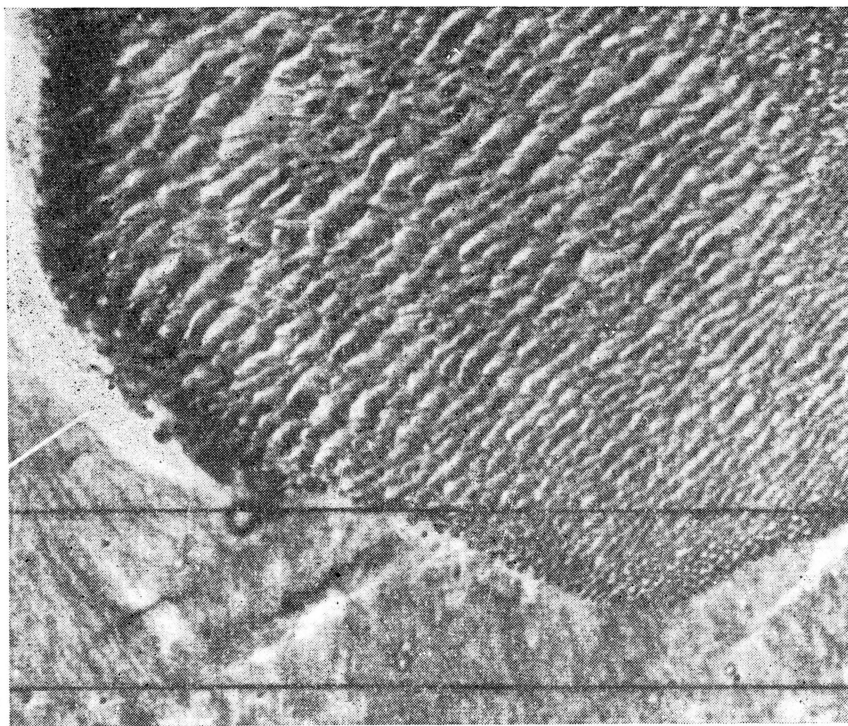
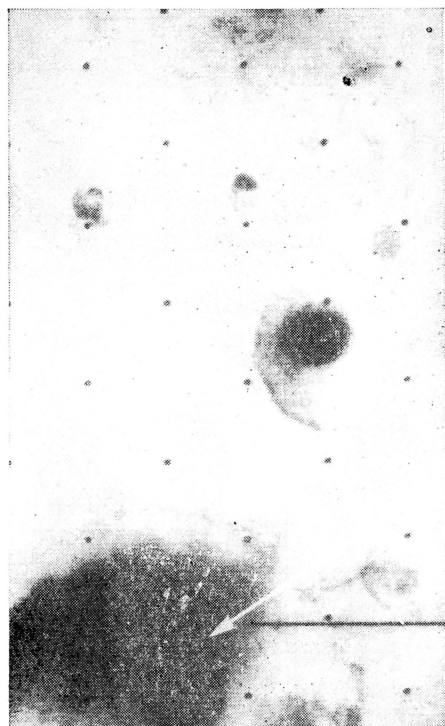
ГРОМАДНАЯ РИФТОВАЯ ДОЛИНА И РУСЛА РЕК

Из обширной возвышенной области Tharsis расходятся на значительное расстояние крутые обрывы, грабены, горсты и рифтовые долины. Создается впечатление, будто процессы, приподнявшие Tharsis, избороздили впадинами треть поверхности Марса. При тщательном осмотре мозаичного изображения планеты, составленного из сотен фотографий, можно выделить радиальную структуру. Наиболее эффектная ее часть — рифтовая долина, тянущаяся на 80° марсианской долготы. Протяженность долины составляет тысячи километров, ширина около ста километров, глубина измеряется многими километрами. Ультрафиолетовый спектрометр позволил построить высотный профиль долины.

На фотоизображениях Марса можно разглядеть слабо извилистые каналы с притоками. Обнаружив подобное на фотографиях Земли, мы без колебаний считаем такие каналы руслами водотоков. Но на Марсе полное атмосферное давление ниже давления в тройной точке для воды, поэтому существование открытых пространств жидкой воды невозможно. Однако внешний вид каналов, даже



Четыре изображения южной полярной шапки, полученные на 14, 21, 36 и 94-й дни полета «Маринера-9» вокруг Марса. Заметно сокращение вершины шапки на заднем плане каждой фотографии по мере приближения лета



чрезвычайно извилистых, с двумя и тремя притоками, можно объяснить лишь воздействием потоков воды на рельеф. Поскольку эти каналы не подверглись сильной эрозии, мы должны заключить, что **русовые потоки воды были на Марсе в сравнительно недавнее время.**

Вероятны и другие объяснения водотоков, в частности, связанное с предварением равноденствия 25 000-летнее непостоянство марсианского климата, в результате которого сейчас происходят изменения в северной полярной шапке. Эти изменения сказываются на режиме атмосферы. Водотоки могли появиться благодаря геотермальной проницаемости слоев, лежащих под скованной полярными морозами поверхностью, или как следствие освобождения физически и химически связанной воды, которая затем поступала в грунт. Каким бы ни было происхождение жидкой воды на Марсе, ее недавнее существование указывает на то, что **Марс, наблюдаемый сегодня, не был таким**

всегда. Сравнительно недавно условия на планете были довольно мягкие. Это значительно повышает вероятность жизни, и, возможно, биологический эксперимент, например «Викинг», обнаружит ее.

ОЛЕДЕНЕНИЕ НА ШАПКАХ?

Другое указание на климатические изменения на Марсе получено при изучении полярных шапок. Южная полярная шапка была видна и во время пылевой бури, но как только пыль улеглась, контраст изображения усилился. Верхушка южной полярной шапки постепенно рассеивалась, но общий вид шапки на 94-й день работы «Маринера-9» не очень сильно от-

личался от того, который наблюдался в конце эксперимента. Оставшаяся часть южной полярной шапки практически не изменяется в теплые сезоны. Поэтому некоторые экспериментаторы допускают, что остаток содержит водяной лед, а замерзшая двуокись углерода, которая образует обширную околополярную шапку, испарившуюся до выхода на орбиту «Маринера-9», сохраняется только на верхушке шапки. Зная скорость испарения большей части шапки, теплоту испарения и солнечную постоянную на Марсе, можно подсчитать, что толщина южной полярной шапки на широте 60° составит всего несколько сантиметров. Однако на фотографических снимках южного полярного района видно, что обширные области, окружающие остаток шапки, подверглись сильной эрозии, лишены кратеров и гор, заметных на приэкваториальных широтах. Очень большие эродированные области попадаются в окрестности Южного полюса, их существование без труда можно объяс-



Типичное положение темных пятен (слева), связанных с внутренними областями кратеров, и изображение такого пятна при высоком разрешении (справа), обнаруживающее участки с дюнами, ориентированными по долготе

чить воздействием оледенения. Но толщина шапки в районе полюса не превышает нескольких сантиметров. Таким образом, мы должны допустить, что здесь в недавнем прошлом существовали, хотя и недолго, обширные ледники.

Это — уже другое подтверждение климатической неустойчивости Марса. Имеются ли в настоящее время ледники в районе северной полярной шапки? В южной полярной области обнаружены слоистые структуры. Независимо от причины их возникновения, они указывают на многочисленные случаи образования осадков. Поскольку мы ничего не знаем о времени отложения осадков, стратиграфический анализ должен стать важнейшей частью будущих геологических изысканий на Марсе.

АЛЬБЕДО, ДЮНЫ, ТЕМНЫЕ ШЛЕЙФЫ

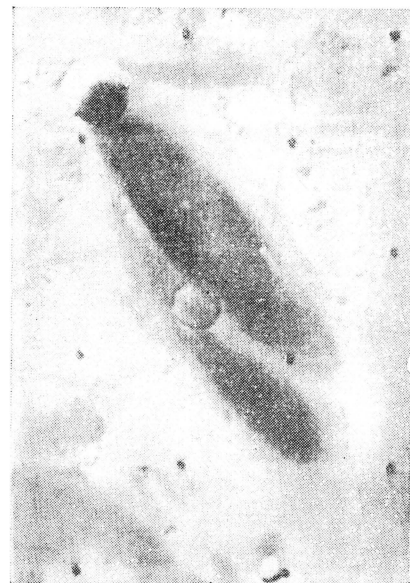
Чтобы выяснить, как изменяется альbedo Марса, решили во время полета «Маринера-9» исследовать конкретные области с интервалом в дни, недели и месяцы, причем все три угла, определяющие фотометрические характеристики, сохранялись постоянными. Значительные изменения альbedo были зафиксированы в одной из областей, свободной от «снега» и расположенной вблизи 70° южной широты. Здесь, как и на всем Марсе, обнаружены многочисленные темные пятна, причем маленькие пятна в большинстве случаев оказываются внутри кратеров. Зигзагообразная граница раздела между светлым и темным поверхностным материалом, как будто бы, указывает на ветровой перенос пыли. Темные пятна при вы-

соком разрешении напоминают песчаные дюны, протянувшиеся, подобно земным дюнам, по долготе. Морфология и время изменения пятен подкрепляет вывод о значительном ветровом переносе пыли на Марсе.

Светлые и темные шлейфы обычно, но не исключительно, тянутся от кратеров. Отдельные светлые шлейфы сомнительны, а некоторые темные изменялись за время эксперимента. Проще всего объяснить происхождение этих образований тем, что тонкая пыль, оседающая в кратерах после пылевой бури, выкачивается из кратеров сильными ветрами. Подобная модель позволяет понять форму, длину и параллельность полос — шлейфов. Однако имеются основания предполагать, что процесс значительно сложнее.

В районе Syrtis Major, где находится большая часть замеченных с Земли темных областей, местоположение темных полос, наблюдавшихся с «Маринера-9», очень хорошо соответствует классическим контурам, определенным из наземных наблюдений. Кажется весьма вероятным, что очертания и временные изменения классических темных областей на Марсе отражают распределение составляющих их полос и пятен. А эти образования, в свою очередь, почти наверняка создаются ветровым переносом пыли.

Таким образом, сезонные и вековые изменения альbedo на Марсе могут быть объяснены транспортировкой ветрами тонкой пыли. Для этого переноса, по нашему мнению, требуется скорость ветра, превосходящая 70 м/сек. Имеются основания ожидать, что ветры Марса гораздо



сильнее, чем земные. На Марсе весьма вероятны склоновые ветры, возникающие из-за разницы высот рельефа, и смерчи. Представляется реальным, что на планете существуют такие ветровые режимы, которые неизвестны на Земле. Доказательства непригодности биологических моделей для объяснения сезонных изменений альbedo, разумеется, не снижают шансов обнаружения жизни на Марсе. Наоборот, данные «Маринера-9» воодушевляют тех, кто ее ищет.

ЛУНЫ МАРСА — ОТМЕТКИ ВРЕМЕНИ

Один из самых волнующих результатов «Маринера-9» — первые фотографии Фобоса и Деймоса. Спутники Марса оказались старыми, каменистыми, сильно изрытыми кратерами, но прочными образованиями. Похоже, что их облик формировался в течение долгой столкновительной эволюции. Фобос и Деймос относятся к самым темным объектам Солнечной системы. Мы еще не знаем, захваченные ли это астероиды или остатки

Два кратера с темными шлейфами, расположенные по соседству с областью Cerberus

Доктор физико-математических наук
Г. С. ГОЛИЦЫН

Нижняя атмосфера Марса

того материала, из которого образовался Марс, но совершенно ясно, что они не искусственные тела, запущенные древней марсианской цивилизацией, как предполагали некоторое время назад. Фобос и Деймос — превосходные индикаторы ударных процессов на поверхности планеты. Они находятся в той же части Солнечной системы, что и Марс. Они должны (вследствие одинаковой заселенности межпланетного пространства обломками) испытывать столько же столкновений, как и Марс, но на спутниках нет ни водной, ни ветровой эрозии, которая, вероятно, существует на Марсе. На поверхности спутников плотность кратеров близка к насыщению, как и в лунных горах. Таким образом, спутники интересуют нас не только сами по себе, они позволяют по плотности ударных кратеров делать предварительные оценки возраста различных областей Марса.

ЧТО МОЖЕТ СДЕЛАТЬ ОДИН КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ

«Маринер-9» открыл Марс, совершенно непохожий на ту планету, которую ожидало увидеть по крайней мере большинство ученых. Марс активен геологически, активны и метеорологические процессы на нем. Возможно, там протекают биологические процессы. С точки зрения грядущего всезнающего XXI века полет «Маринера-9» станет событием, которое впервые поставило нас лицом к лицу с истинным Марсом, а не тем скудным Марсом, каким его представляли в прошлом. Вновь один космический аппарат изменил наш взгляд на Космос.

Автоматические станции «Марс-2», «Марс-3» и «Маринер-9» менее чем за год своей работы сообщили о Марсе гораздо больше, чем было накоплено за всю предыдущую историю его изучения. В результате исследователи составили довольно подробное представление об атмосфере красной планеты.

Изучение Марса и его атмосферы имеет большое значение для познания эволюции планетной системы, для углубленного понимания законов, которые управляют атмосферой Земли.

Знать строение атмосферы Марса необходимо и для чисто практических целей, например для осуществления мягкой посадки на его поверхность. От распределения плотности по высоте зависит скорость спуска автоматической станции. Сильные ветры в атмосфере планеты особенно опасны в момент посадки, поэтому нужно с достоверностью судить о режиме ветров. К тому же основная причина эрозии, меняющей облик поверхности Марса, — это опять ветер.

В АТМОСФЕРЕ МАРСА CO_2 , H_2O , O_3

Во второй половине 60-х годов наземные спектроскопические наблюдения показали, что атмосфера Марса состоит в основном из углекислого газа.

Эксперименты на «Маринере-9» показывали, что планета имеет форму сплюснутой груши: все южное полушарие на 3—4 км выше северного, а наиболее низкая область располагается в районе 65° с. ш. Атмосферное давление в южном полушарии на по-

верхности равно 3—4 мбар, в экваториальной зоне оно близко к 5 мбар, в районе 65° с. ш. 8—9 мбар, а вблизи Северного полюса — около 6 мбар. Таким образом, масса атмосферы в северном полушарии заметно больше, чем в южном.

Кроме углекислого газа в нижней атмосфере Марса обнаруживается небольшое количество паров воды.

В полярных областях Марса найден в малых количествах озон. Больше всего озона зимой, летом он исчезает. По-видимому, озон марсианской атмосферы в присутствии водяного пара не образуется. Содержание водяного пара во времени изменяется противоположно озону. Однако озона слишком мало, чтобы он существенно поглощал ультрафиолетовое излучение. Исследование фотохимии марсианского озона и его вариаций важно для познания сложных процессов в земной атмосфере. Озон чрезвычайно чувствителен к атмосферным примесям. Все больше и больше специалистов разделяют опасения, что возрастающее загрязнение нашей атмосферы может в конце концов привести к разрушению слоя озоносферы, защищающего Землю от ультрафиолетового излучения Солнца.

Кислород земной атмосферы имеет биологическое происхождение, и если бы не растения, то за 10 000 лет он весь ушел бы на окисление горных пород. В первичной атмосфере Земли не было значительных количеств молекулярного кислорода. Поэтому вопрос о существовании озона в первичной атмосфере, как это наблюдается на Марсе, представляет большой интерес для понимания процессов возникновения жизни на Земле.

Так проблемы изучения атмосферы Марса непосредственно перекликаются с нашими земными заботами.

ТЕМПЕРАТУРА НА МАРСЕ

Средняя температура планеты определяется условием баланса между приходящей от Солнца радиацией и тепловым излучением планеты в космос. Существует баланс между количеством солнечной энергии, поглощаемой диском планеты, и полным излучением всей поверхностью планеты. Это излучение характеризуется температурой, называемой эффективной температурой теплового излучения. Из-за вытянутости орбиты Марса эта температура в перигелии на 11°K больше, а в афелии на столько же градусов меньше средней температуры (216°K , или -57°C).

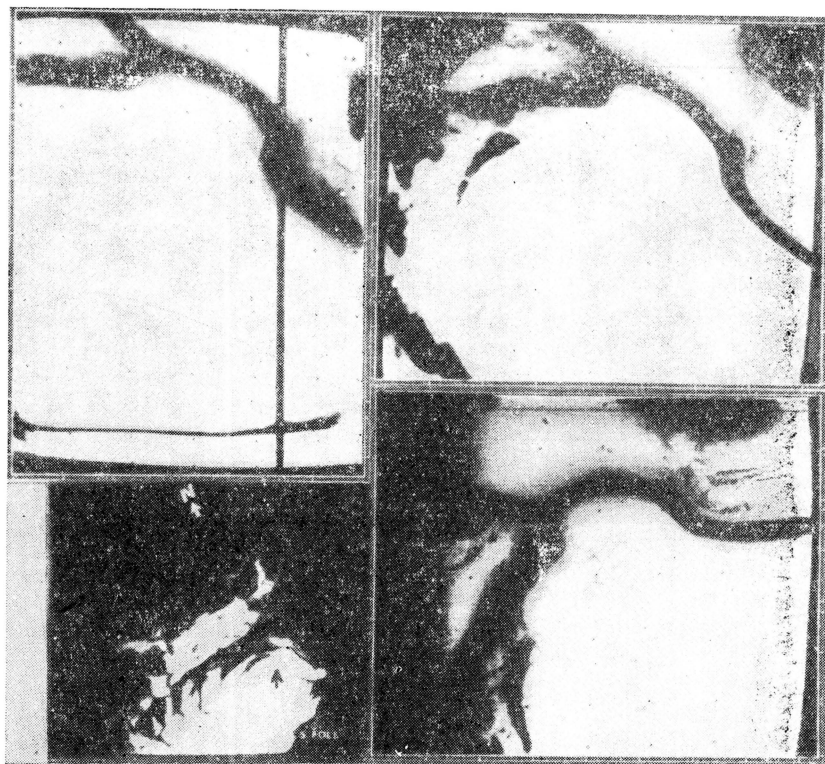
Помимо указанных относительно небольших вариаций, температура поверхности Марса и в меньшей степени температура его атмосферы испытывают суточные, сезонные и широтные колебания, которые связаны с тем, что атмосфера Марса обладает очень плохим «парниковым» эффектом и практически не задерживает уходящее длинноволновое тепловое излучение. Температура на поверхности экваториальных областей днем может быть 300°K , или $+30^{\circ}\text{C}$, а ночью падает до 180°K , то есть примерно до -90°C .

Еще большее охлаждение происходит в высоких широтах Марса за долгую полярную ночь. Температура начинает быстро падать, и при температуре 145°K начинается конденсация атмосферной углекислоты. Но сначала из атмосферы вымерзает во-

дяной пар. Поэтому полярные шапки на Марсе состоят в нижнем слое из водяного льда, покрытого сверху слоем сухого льда, то есть твердой углекислотой. Выделяющаяся при этом теплота конденсации поддерживает температуру атмосферы и поверхности планеты на уровне 145°K .



Весной и летом полярные шапки на Марсе интенсивно тают. На телевизионных изображениях, переданных «Маринером-9», видна динамика таяния южной полярной шапки. Внизу слева — снимок, сделанный широкоугольной камерой, а три других — узкоугольной, с высоким разрешением. Объективы были направлены на область, отмеченную стрелкой. Изображения получены 19 и 28 ноября, а также 1 декабря 1971 года. Скорости таяния показывают, что толщина ледяного покрова измеряется лишь немногими сантиметрами



ВЕТРЫ И ПЫЛЕВЫЕ БУРИ

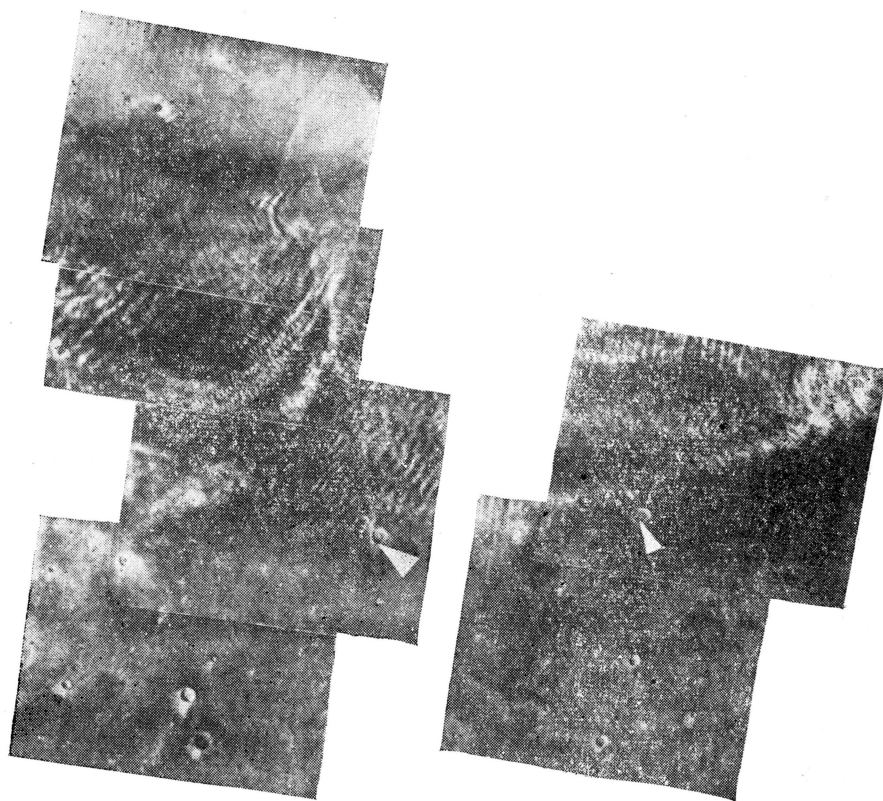
Неравномерный разогрев поверхности и атмосферы Марса вызывает общую циркуляцию атмосферы. На планете дуют ветры. Циркуляция стремится сгладить температурные контрасты. Однако разреженная атмосфера Марса не способна переносить много тепла, поэтому температурный режим на различных широтах близок к тому, который определяется локальным радиационным балансом.

Циркуляцию марсианской атмосферы изучали американские метеорологи К. Лиови и Э. Минц, привлекая для этого численное моделирование. Схема циркуляции оказалась похожей на земную: активная циклоническая деятельность в зимнем полушарии с преобладанием западных ветров (скорость 50 м/сек и более) и сравнительно спокойная атмосфера летнего полушария с восточными вет-

рами (10—20 м/сек). Многие выводы К. Лиови и Э. Минца подтверждаются фотографиями облачных систем, полученными американской межпланетной станцией «Маринер-9».

Одно из самых загадочных и грандиозных явлений на Марсе — это пылевые бури. Они отмечались земными наблюдателями только во время великих противостояний. Так было и в ноябре 1971 года, когда автоматические межпланетные станции приблизились к Марсу. Первые же снимки, переданные ими, показали, что вся планета затянута сплошной пеленой пыли, сквозь которую просматривались лишь неясные очертания некоторых кратеров. Развитие бури в 1971 году детально прослеживалось с Земли. Главная стадия бури началась 22 сентября 1971 года. В области Hellespontus (южное полушарие Марса) возникло яркое белое облако длиной около 2400 км и шириной приблизительно 400 км. Оно сначала медленно, а затем все быстрее распространялось по планете, приобретая желтый оттенок. Потом появилась желтая дымка, сильно уменьшившая контрасты. За две недели южное полушарие скрылось под пеленой, а через месяц на диске планеты исчезли последние неясные детали. Пелена начала рассеиваться лишь со второй половины декабря, хотя южная полярная шапка просматривалась уже в ноябре. Полностью нормальные контрасты восстановились лишь к середине января 1972 года.

Связь глобальных пылевых бурь с великими противостояниями становится понятной, если учесть, что Марс в это время всегда находится вблизи перигелия своей орбиты. Южное по-



лушарие планеты интенсивно облучается — и южная полярная шапка тает особенно быстро. Пылевые бури всегда начинаются в южном полушарии, примерно в одном и том же районе; значит, их можно считать сезонным явлением. Интенсивные пылевые бури наблюдались также в периоды великих противостояний 1892, 1924 и 1956 годов. Однако бури развиваются не в каждое великое противостояние. Их не было в 1909 и 1939 годах, хотя в противостояния 1907, 1911 и 1941 годов на Марсе отмечались большие желтые облака.

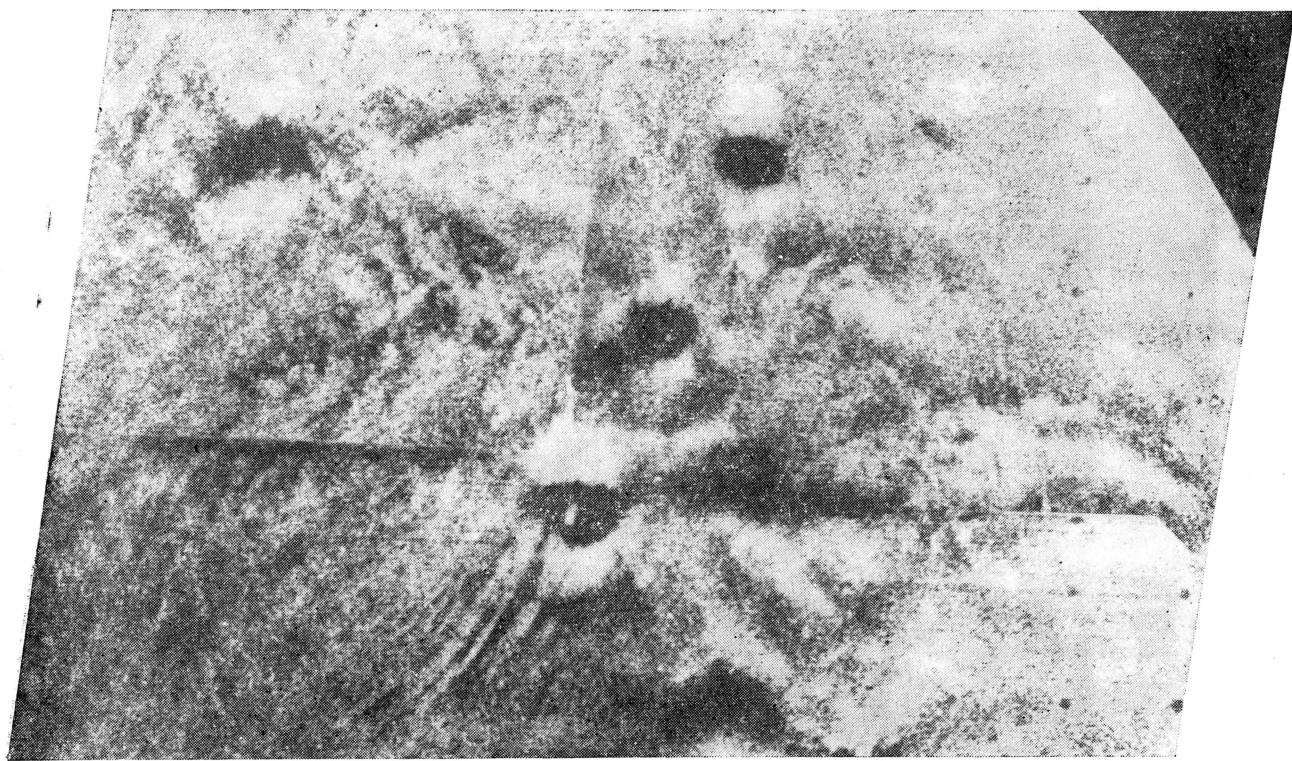


Монтаж фотоснимков с «Маринера-9», на которых показана одна и та же область Марса за два последовательных дня.

На левом снимке видна циклоническая структура облачности. Через день сформировался облачный фронт (снимок справа)

Почему же пылевые бури не наблюдаются чаще? Между великими противостояниями, происходящими один раз в 15 или 17 лет, Марс еще 7 или 8 раз оказывается вблизи своего перигелия. Но в это время наблюдать Марс трудно. В противостояния, соседние с великими, Марс не слишком далек от своего перигелия, и в его южном полушарии весна или лето. Поэтому возможны пылевые бури меньшего масштаба, которые наблюдаются в виде больших желтых облаков, частично закрывающих диск планеты. Буря 1971 года была самой длительной и интенсивной из всех, наблюдавшихся до сих пор.

Попытка теоретически представить зарождение и развитие пылевой бури на Марсе представляет необычайно сложную задачу. Нужно учесть взаимодействие разнообразных явлений. Требуется знать, например, как поднимается ветром пыль с поверхности



и как она распространяется в атмосфере, как поглощается пылью солнечная радиация и как затем изменяются температурные условия атмосферы и подстилающей поверхности, что в свою очередь изменяет ветровой режим.

Чтобы началась пылевая буря, необходимо сочетание ряда общих и локальных метеорологических факторов. Этим, вероятно, и объясняется, что не каждое великое противостояние сопровождается бурями. Но они подчас достигают глобальных размеров, значит, существуют какие-то механизмы, способствующие саморазвитию бури. Один из возможных механизмов был предложен автором этой статьи и независимо американ-

скими учеными П. Гиращем и Р. Гуди, а также С. Хессом в 1972 году.

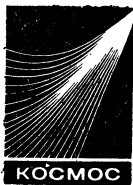
Как действует механизм? Прямые измерения показали, что температура запыленной атмосферы Марса выше, а его поверхности — ниже, чем в обычных условиях. Поэтому облако пыли больших размеров, поглощая солнечную радиацию, изменит температуру атмосферы по сравнению с незапыленными областями. Возникнут горизонтальные перепады температуры, а стало быть, и давления, что приведет к усилению ветра внутри облака и в его окрестности. Поднимутся новые массы пыли, облако станет расти, усиленно поглощая солнечную радиацию. Процесс будет развиваться до тех пор, пока облако не закроет всю планету. Тогда горизонтальные температурные градиенты ослабеют, ветры начнут утихать, частицы пыли осядут. Если выпадение пыли происходит над разными участками планеты неравномерно, то возможны новые вре-

менные обострения температурных контрастов и усиления ветров. Временные усиления бури действительно наблюдались в 1924 и 1971 годах.

Мы изучаем пылевые бури не только ради познания их природы. Пылевые бури, хотя и меньшего масштаба, часто случаются на Земле. Они приносят большой ущерб сельскому хозяйству, поэтому познание механизмов зарождения и развития пылевых бурь имеет практическое значение. Понижение температуры поверхности планеты и изменение температуры ее атмосферы на развитой стадии глобальной пылевой бури наглядно показывают, к каким последствиям может привести значительная запыленность, поглощающая солнечную радиацию. А такие сведения важны для построения теорий естественного и искусственного воздействия на климат Земли.

Марс помогает нам лучше и глубже понять свою собственную планету.

Фотомонтаж нескольких изображений, полученных «Маринером-9» во время пылевой бури в ноябре 1971 года. Видны лишь наиболее крупные элементы рельефа.



Кандидат физико-математических наук
С. В. КОЗЛОВСКАЯ

Внутреннее строение и химический состав Марса

Понять, из чего и как сложены планеты, помогает история их возникновения. Наш соотечественник академик Отто Юльевич Шмидт разработал теорию образования планетной системы. Главные идеи Шмидта стали всеобщими и на них основываются все современные космогонические исследования. Согласно этой теории, планеты возникают при аккумуляции твердых тел и частиц в процессе эволюции газо-пылевого протопланетного облака. Планеты земной группы и метеориты, образовавшиеся во внутренней части протопланетного облака, должны иметь сходный состав. Исследователи внутреннего строения Марса последние двадцать лет исходили из подобных представлений. Такой подход позволяет провести параллельный анализ внутреннего строения планет земной группы, основываясь на известных сведениях о Земле.

МОДЕЛИ МАРСА

Для исследования внутреннего строения и химического состава Марса теоретически рассчитали модель со сферически симметричным распределением плотности. При расчете использовали экспериментальные и теоретические сведения об уравнениях состояния веществ, из которых, предположительно, сложены планеты земной группы. Немаловажные сведения, помогающие выполнить теоретические построения, предоставили геофизика и метеоритика. Для Марса известны масса, радиус и момент инерции, модель его должна иметь те же значения указанных величин.

Однако немногим более десяти лет

назад исходные данные для расчета модели были очень ненадежными, особенно радиус Марса: различия в определениях радиуса превосходили 100 км! Столь большая неопределенность позволяла построить огромное разнообразие моделей Марса, среди которых можно было выбрать модель и сходного, и различного с Землей состава.

В наши дни достижения космонавтики позволили уточнить старые и получить новые данные. Радиус Марса определяется искусственными спутниками с точностью около одного километра. Масса и динамическое сжатие планеты, характеризующее распределение плотности в ней, оценены с точностью до десятых долей процента. Распределение плотности тесно связано с термической историей Марса, поскольку от последней зависит дифференциация и физическое состояние марсианских недр. Для суждения о термической истории Марса весьма существенным оказалась открытие «горячих пятен» на его поверхности советскими станциями «Марс-2» и «Марс-3» и обнаружение явных следов вулканической активности американским аппаратом «Маринер-9».

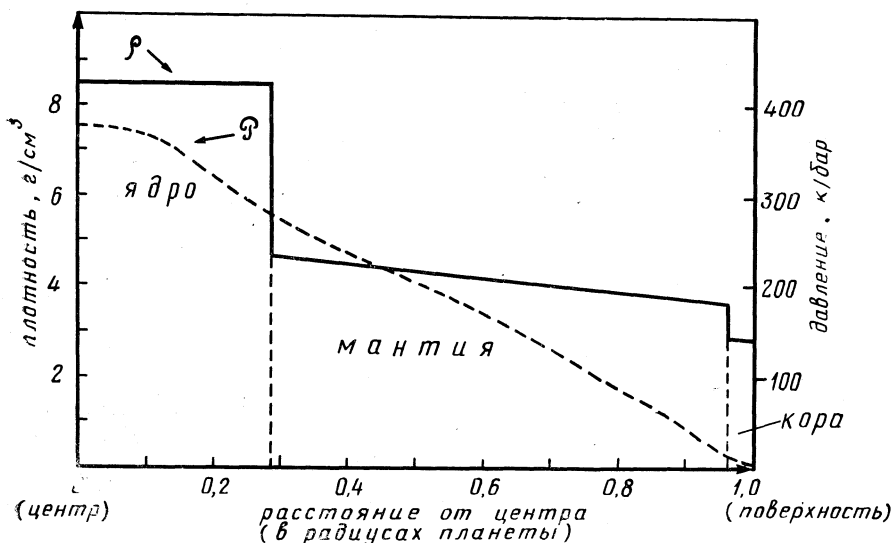
Обнаружено, что в атмосферной пыли содержится $50 \pm 10\%$ кремнезема (SiO_2). Поскольку тонкозернистая пыль обычно богаче глинистыми минералами (главным образом каолинитом, содержащим меньше SiO_2), чем крупнозернистая пыль, то поверхностные породы должны быть по крайней мере такими же кислыми, как атмосферная пыль. Стало быть, на Марсе происходило значительное расплавление его недр, а потом гео-

химическая дифференциация. Она вызвала выплавление и поднятие легкого силикатического вещества, состоящего преимущественно из кремния и алюминия, к поверхности. Перечисленные данные позволяют значительно сузить класс возможных моделей Марса.

ПОХОЖ ЛИ МАРС НА ЗЕМЛЮ?

Естественно сравнивать состав Марса с составом Земли и метеоритов. На этом, казалось бы, простом пути возникает новая сложность: мы не знаем состава вещества Земли в целом. Правда, сейсмические наблюдения позволяют изучить довольно детально земные недра и выявить их слоистую структуру. Сравнение скоростей сейсмических волн с результатами лабораторных исследований горных пород, в свою очередь, позволяет сделать относительно правдоподобные предположения о составе земных слоев. Однако до сих пор нет единого мнения о природе ядра Земли, заключающего в себе около 32% всей ее массы.

Существуют две старые гипотезы: железного (железо-никелевого) ядра Земли и ядра из металлизированных силикатов. Последние пятнадцать лет специалисты пытаются создать модель железного ядра, которая предполагает добавление в него более легких элементов (сера, углерод или кремний). От чистожелезного ядра пришлось отказаться, поскольку опыты по ударному сжатию показали, что плотность такого ядра слишком велика. Значит, сравнивая состав Земли и Марса, необходимо оговаривать, из какой гипотезы о природе земного ядра исходит исследователь.



Впервые сравнение состава Земли, Марса и других планет земной группы выполнено в 1937 году английским геофизиком Г. Джеффрисом. Он заключил, что если ядро Земли сложено из железа, то эти планеты имеют различный состав.

Казалось, будто из гипотезы о ядре Земли, сложенном металлизированными силикатами мантии, вытекает заключение об одинаковом составе Земли и Марса. Тогда различие их плотностей следовало объяснить так: в недрах Марса, масса которого лишь немного больше одной десятой массы Земли, не достигается критического давления, необходимого для перехода силикатов в плотную металлическую фазу. Однако детальные расчеты показали, что и в этом случае состав Земли и Марса различен.

Зависимость плотности ρ и давления P в недрах Марса от глубины (согласно модели, предложенной автором). Масса Марса $6,423 \cdot 10^{26}$ г (то есть 0,108 массы Земли), средний радиус 3386 км, средняя плотность 3,95 г/см³. Масса коры составляет около 6% массы планеты, масса мантии приблизительно 89%, а масса ядра около 5%. Радиус ядра равен 960 км

НЕДРА И КОРА МАРСА

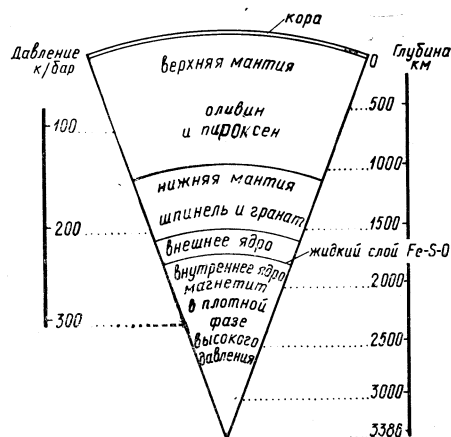
Автор этой статьи провел расчеты внутреннего строения Марса, опираясь на данные о верхней мантии Земли. Давление в центре Марса соответствует давлению в недрах Земли на глубине около 800 км, поэтому зависимость плотности от давления в верхней мантии бралась за основу. В значение плотности ее вещества была внесена поправка, учитывающая предполагаемую различную степень выплавления легкого силикатического вещества, содержащего до 70% кремнезема, в кору на Земле и Марсе. Ожидаемое различие состава Марса и верхней мантии Земли компенсировалось примесью к веществу Земли металлического никелистого железа, характерного для метеоритов. По такой схеме рассчитана мантия Марса. В центре модели — ядро из никелистого железа.

Размер ядра и плотность вещества мантии в модели Марса с истинными значениями массы, радиуса и момента инерции зависят от толщины коры, которая, несомненно, у Марса есть. Кора на Марсе не может быть тоньше 20 км. Подобная мощность коры соответствует той же степени выплав-

ления, какая принимается для верхней мантии Земли. Если бы произошло выплавление всего силикатического вещества из всей толщи Марса, то его кора имела бы предельную толщину около 200 км. Расчеты, выполненные советским геофизиком С. В. Маевой, показали, что уже в первые 2 млрд. лет в недрах Марса могло начаться расплавление на глубинах около 500 км, с течением времени продвигавшееся вглубь. Кора Марса может быть мощнее коры Земли. Только сейсмический эксперимент на Марсе позволит определить толщину его коры, а это дело недалекого будущего.

Космические аппараты показали нам, что поверхность Марса отмечена чертами сложной тектонической истории развития и широко распространенного вулканизма. Имеются на поверхности и кратеры явно метеоритного происхождения. Больший, чем у Земли, перепад высот рельефа планеты сохранился, несмотря на более мощные, чем на Земле, эрозионные процессы (пылевые бури, большие скорости ветра и большие резкие отличия дневных и ночных температур поверхности). Значит, многие поверхностные формы возникли в геологически недавнее время. Недра Марса активны, и его кора вряд ли достигла предельной толщины.

Весьма вероятно, что Марс имеет кору мощностью в несколько десятков или даже около ста километров. Тогда модель с истинным моментом инерции Марса будет характеризоваться следующими основными чертами: 100-километровая кора, заклю-



ДРУГИЕ МОДЕЛИ МАРСА

чающая около 7% массы планеты; содержание никелистого железа (а оно выражает отличие состава Марса от состава верхней мантии Земли) около 17%. Но в железном ядре Марса может находиться только около 5% массы (радиус ядра 960 км), так как момент инерции Марса не допускает более мощного ядра. Остальное железо (12%) «утяжеляет» вещество мантии Марса, по сравнению с веществом верхней мантии Земли, использованном для расчета модели Марса. «Утяжеление» следует объяснять большей долей железных силикатов в мантии Марса, по сравнению с верхней мантией Земли. В противном случае, все железо выплавилось бы в ядро Марса (поскольку его недр, по-видимому, расплавились до значительных глубин) и ядро планеты стало бы более массивным.

Главная компонента вещества верхней мантии Земли, — вероятно, оливин, состоящий из ортосиликатов магния (форстерит Mg_2SiO_4) и железа (файялит Fe_2SiO_4). Плотность оливина и его фазовых видоизменений возрастает с увеличением доли файялита и с уменьшением доли форстерита. Мантия правильной модели Марса должна содержать файялита на 15—20% больше, чем верхняя мантия Земли, что обеспечивает необходимое «утяжеление» вещества мантии Марса. В такой мантии Марса можно прогнозировать меньшие скорости сейсмических волн, чем в верхней мантии Земли при аналогичных условиях (при одинаковых давлении и температуре, но не глубинах!). Вещество мантии Марса при нормальных условиях имеет плотность $3,55 \text{ г/см}^3$, а Земли — $3,3 \text{ г/см}^3$.

Ядро Марса кроме никелистого железа может содержать еще серу. Тогда плотность ядра станет меньше, а размеры больше, чем у железо-никелевого ядра, плотность мантии в модели оказывается равной $3,54 \text{ г/см}^3$. Эту модель предложил американский геофизик Д. Андерсон.

Весовое содержание железа, никеля и серы, которые могут входить в состав ядра, зависят от условий во время формирования планеты, от современной температуры ее недр, дифференциации, состава и степени окисления первичного материала.

Австралийский геофизик А. Рингвуд предположил, что относительное содержание главных элементов (железа, магния, алюминия и кремния) в планетах земной группы такое же, как в Солнце и в определенном типе углистых хондритов. Различие состава Земли и Марса он объясняет неодинаковым содержанием кислорода, то есть разной степенью окисленности, связанной с физико-химическими условиями в протопланетном облаке.

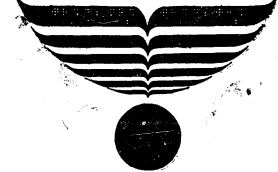
■ *Относительный размер и предполагаемый состав оболочек Марса по модели А. Рингвуда. Мощность коры около 100 км. В модели допускается большое ядро из магнетита. Нижняя мантия образована фазовым видоизменением вещества верхней мантии*

Рингвуд построил модель Марса из хондритового материала с более высокой степенью окисления, чем у вещества Земли, или обыкновенных хондритов. Около половины железа находится в оливинах и пироксенах марсианской мантии. Остальное железо в виде плотной модификации магнетита (возможно, с некоторой долей троилита и металлического железа) образует ядро. Имеется легкая кора. В наиболее вероятной модели Рингвуда радиус ядра порядка 1000 км, а толщина коры около сотни километров.

Как известно, динамо-теория земного магнетизма объясняет существование земного магнитного поля конвективными токами в жидком проводящем ядре, радиус которого занимает более половины радиуса Земли. Малые размеры марсианского ядра и возможное присутствие в нем серы, повышающей электрическое сопротивление материала ядра, могут объяснить, почему на Марсе нет заметного магнитного поля.

Решение вопроса о размерах ядра и толщине коры Марса ждет сейсмических экспериментов на планете.

Анализ движения естественных и искусственных спутников Марса позволяет изучить структуру его внешнего гравитационного поля и определить числовые параметры, характеризующие распределение масс и фигуру планеты. Очень точно определено полярное сжатие, а из него — момент инерции планеты. Сжатие Марса (1:190,9) больше, чем у Земли (1:298,25), стало быть, его масса меньше сконцентрирована к центру, чем в Земле. Однако оптические определения сжатия Марса сильно от-



ЯРКАЯ КОМЕТА НАСТУПАЮЩЕЙ ЗИМЫ

Комета 1973 f, открытая Л. Когоутеком на Гамбургской обсерватории, должна к концу года стать объектом первой величины или ярче.

Вечером 7 марта при фотографических наблюдениях малых планет Когоутек обнаружил на двух пластинках комету. Она походила на расплывчатое пятнышко 16-величины, очень медленно движущееся на северо-запад вблизи головы Гидры. В то время комету и Солнце разделяли 5 а. е.

Американский астроном Б. Марсен вычислил предварительные элементы орбиты, согласно которым комета пройдет перигелий 29 декабря 1973 года на расстоянии около 0,14 а. е. от Солнца. Столь значительное уменьшение гелиоцентрического расстояния обещает эффективное увеличение яркости. В декабре комету удастся увидеть невооруженным глазом в созвездии Девы.

Достигнув наибольшего блеска в перигелий к концу года, комета будет находиться за Солнцем, теряясь в солнечном сиянии. В январе 1974 года она засверкает на вечернем небе, когда начнет передвигаться от Стрельца по созвездиям Орла, Водолея и Рыб. В феврале и марте комету можно будет наблюдать в малые инструменты в созвездиях Овна и Тельца.

«Sky and Telescope», 45, 5, 1973.

личаются от динамических. Такую загадку трудно объяснить оптическими эффектами. Детальное измерение высот местности на различных широтах относительно некоторого среднего уровня показали, что физическая поверхность планеты, по-видимому, действительно более сжата, чем его гравитационная эквипотенциальная поверхность, которая определяется из анализа орбит спутников. Если этот вывод подтвердится, он будет иметь огромное значение для понимания эволюции и внутреннего строения Марса. Можно предположить, что верхний слой низкой плотности много толще на экваторе, чем на полюсе. Воздух «стекает» из экваториальных зон к полюсам, и, как следствие, в полярных зонах давление выше. Однако необходимы дальнейшие измерения атмосферного давления на высоких широтах планеты.

ЭВОЛЮЦИЯ МАРСА

Исследования в последние годы сильно изменили наши представления о Марсе. В геологической картине Марса больше разнообразия, чем это предполагалось. На нем обнаружены поверхностные образования, подобных которым нет ни на Луне, ни на Земле.

Вулканизм играл важную роль в формировании марсианской поверхности и разреженной атмосферы. Очевидно, вулканизм был более драматичным, разнообразным и охватывал больший период истории Марса, чем на Луне. Главные процессы, формирующие поверхность, проявлялись на Марсе иначе, чем на Земле. Для него характерно взаимодействие ме-

теоритных ударов, вулканизма, тектоники, процессов эрозии и осадконакопления.

Даже при одинаковом составе планеты внутреннее строение и термическая история зависят от массы. Это происходит потому, что массой планеты определяется величина давления в ее недрах и, следовательно, величины температуры плавления и вязкости, которые возрастают с ростом давления. Внутри Марса температуры плавления ниже, чем в Земле, поэтому радиоогенный разогрев сравнительно быстро привел к расплавлению и дифференциации значительных объемов. Процесс дифференциации облегчался меньшей вязкостью марсианских недр по сравнению с земными. Различие рельефа Марса, Земли и Луны в некоторой мере отражает и различие их эволюции. Вместе с тем, расчеты моделей, их сравнительный анализ показывают, что и по составу Марс не совпадает с Землей при любой гипотезе о природе ее ядра. Некоторое несходство состава планет земной группы и метеоритов объясняется, главным образом, неодинаковой долей окисленного и металлического железа в их первичном веществе. Изменение состава первичного вещества с расстоянием от Солнца можно было бы понять, если предположить, что первичное вещество планет образовалось конденсацией пыли при остывании протопланетного облака. Это — один из доводов в пользу гипотезы отделения вещества протопланетного облака от сжимающегося протосолнца в результате ротационной неустойчивости, когда его поверхностные слои уже были горячими. Неодинаковые темпера-

турные условия на разных расстояниях от Солнца привели и к главному разделению планет по составу на две группы (земная и планет-гигантов) и к более тонким отличиям состава в пределах каждой из этих групп.

Есть ли у Марса магнитное поле?

80 лет тому назад известный русский геофизик Э. Е. Лейст, которому принадлежит честь открытия Курской магнитной аномалии и предсказания ее богатейших железорудных залежей, впервые попытался обнаружить магнитные поля планет по их возможному влиянию на магнитное поле Земли. «Нельзя допустить», — писал Лейст, — что магнетизм составляет исключительное свойство нашей Земли, а скорее можно предположить, что все планеты обладают этой силой...»

Представления о всеобщности магнитных свойств планет были тогда естественны. Они согласовывались с тем, как понимали ученые магнитное поле Земли и строение планет Солнечной системы не только во времена Лейста, но и в последующие 50 лет.

ТРЕБУЕТСЯ ПЛАНЕТАРНОЕ ДИНАМО

Большая скорость вековых изменений магнитного поля Земли по сравнению со скоростью процессов в коре и твердой мантии, факты изменения полярности магнитного поля в прошлое геологическое время, полученные палеомагнитными методами, заставили отказаться от прежних взглядов. Безнадежно устарели гипотезы, которые связывали магнитное поле Земли с намагничиванием горных пород, непосредственно с вращением Земли, токами от химических и термоэлектрических источников. Приемлемой оказалась гипотеза о самовозбуждающемся гидромагнитном динамо, действующем в земном ядре.

Инженерные принципы динамо-машины с самовозбуждением хорошо известны в электротехнике, но возможно ли планетарное динамо? Да,

возможно, — показали теоретические работы и, в частности, новые модели гидромагнитного динамо. Эти модели обеспечивали при определенном, достаточном несимметричном поле скоростей движения в жидком проводящем ядре усиление начального магнитного поля.

Современные кинематические модели оказались в состоянии описать важнейшие особенности магнитного поля Земли. К важнейшим особенностям относятся дипольный характер главной части поля и возможность смены его знака, близость, но не совпадение оси диполя с осью вращения Земли, возникновение более сложных конфигураций поля (недипольных членов), дрейф на запад недипольной части поля, нерегулярные флуктуации угловой скорости вращения Земли. Однако достоверность гипотезы еще не была доказана. Физические условия в недрах нашей планеты пока известны весьма приблизительно. Стало быть, не следует удивляться, почему до сих пор не существует полной физической теории динамо, которая основывалась бы на реальных характеристиках скоростей и сил, действующих в земном ядре.

Естественно было надеяться, что решение задачи облегчится сведениями о магнитных полях других планет. Обнаружение магнитного поля у конкретной планеты или твердая убежденность, что его там нет, уже составляют фундаментальную информацию о внутреннем строении планеты для теории земного динамо.

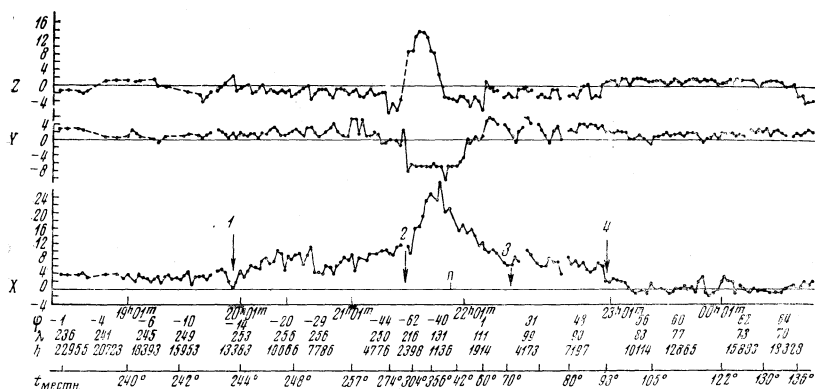
МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ПЛАНЕТ

Менее четверти века назад открыли радиоизлучение Юпитера в деци-

метровом диапазоне. Оно оказалось сильно поляризованным, а размеры источника во много раз превышали размеры видимого диска планеты. Это дало основание заключить, что излучение создается осциллирующими электронами, захваченными магнитным полем Юпитера. Возможность захвата электрически заряженных частиц магнитным полем была в это время уже доказана благодаря открытию радиационных поясов Земли.

Напряженность поля в центре радиационных поясов Юпитера оценивается величиной 1—10 гс, то есть в 70—700 раз больше, чем в центре радиационных поясов Земли. Дипольный момент Юпитера в 10^5 раз больше дипольного момента Земли. Северный магнитный полюс расположен в северном полушарии Юпитера, значит, диполь Юпитера направлен противоположно земному диполю. Однако наиболее удивительны не различия в интенсивности и знаках поля, но аналогия в обоих полях: ось магнитного диполя Юпитера отклонена на угол $9-24^\circ$ от оси вращения (угол наклона земного диполя $11,5^\circ$), а магнитные центры диполей смещены от центров планет. В теории магнитного динамо асимметрия поля (наклон оси и эксцентриситет диполя) — не случайное обстоятельство, а важнейшее условие возбуждения динамотоков в ядре.

Уже в первом космическом десятилетии (1959—1967 годы) советские и американские космические аппараты провели магнитные исследования Луны, Марса и Венеры. Магнитометры советских автоматических станций «Луна-2», «Луна-10», американского спутника Земли «Эксплорер-35» и



американских космических кораблей серии «Аполлон» не обнаружили признаков собственного дипольного поля Луны. Запуски советской автоматической межпланетной станции «Венера-4» (1967 год) и американского космического аппарата «Маринер-5» позволили установить, что у Венеры нет собственного магнитного дипольного поля, которое было бы равно, (или превышало) 1/4000 магнитного поля Земли. Магнитометр аппарата «Маринер-4» на расстоянии 13 200 км от центра Марса не нашел признаков собственного поля планеты.

Во всех перечисленных экспериментах удалось зарегистрировать возму-

щения, производимые небесными телами в солнечном ветре. Ударный фронт в окрестности Венеры был пересечен космическими аппаратами под углами 59 и 110° к направлению Солнце — Венера. Положение фронта вполне удовлетворительно объяснялось возмущающим влиянием ионосферы Венеры. «Маринер-4» пересек ударный фронт под углом 100—150° к направлению Солнце — Марс. Положение ударного фронта при малых углах с направлением Солнце — Марс осталось неопределенным. Поэтому возникновение фронта могло быть приписано влиянию не обнаруженного магнитного поля или влиянию ионосферы.

Столь неожиданный результат восприняли по-разному. Оптимисты увидели позитивный результат проверки теории магнитного динамо. Они рассуждали приблизительно так. У Луны однородное строение. Венера, вероятно, не лишена ядра, но вращается очень медленно. У Марса угловая скорость одинакова с земной, но его ядро, существование которого мы предполагаем, видимо, мало. Великато сопротивление. Кроме того, «мотор», приводящий в движение магнитное динамо, мог давно остановиться. Пессимисты позволяли себе задать несколько вопросов. Существовали ли в прошлом магнитные поля Луны, Венеры, Марса? Нет ли остаточного магнетизма в горных породах этих небесных тел? Может быть,

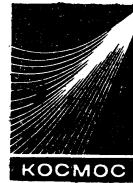
существуют магнитные поля, не связанные с механизмом динамо? Ответы дали последующие магнитные эксперименты на «Марсе-2», «Марсе-3», кораблях «Аполлон» и автоматической лаборатории «Луноход-2».

НЕОБХОДИМО И ДОСТАТОЧНО

Известные кинематические модели магнитного динамо сочетают генерацию магнитного поля в планете с жидким проводящим ядром и вращением планеты. Это необходимые условия. Некоторая количественная характеристика общих условий, при которых возможна генерация поля, определяется значением числа Рейнольдса, большим 10 (напомним, что число Рейнольдса $R = 4\pi l v \sigma$, где l — размеры области, в которой развивается процесс, v — скорость конвекции проводящей жидкости, σ — электропроводимость). Мощность, необходимая для поддержания магнитного динамо Земли, оценивается величиной 10^{19} эрг/сек. Полагают, что в ядре Земли ничтожно мало радиоактивных элементов. Для поддержания гидромагнитного динамо необходимо допустить существование других источников энергии.

Какой «мотор» приводит в движение планетарное динамо? По мнению некоторых специалистов, в Земле все еще продолжается образование жидкого ядра. Стеkanie железа из мантии в ядро и служит источником энергии динамо. Другие, наоборот, считают, что продолжается рост внутреннего твердого ядра. Выделяющаяся скрытая теплота служит источником энергии динамо. Всплытие легкого кремния, сопровождающее про-

Магнитограмма «Марса-3» 21 января 1972 года. Каждая точка соответствует среднему из восьми измерений поля в течение одной минуты. По горизонтальной оси отложены аэрографические координаты спутника, его высота над поверхностью, местное время в градусах (местный полдень — 0°). По вертикальной оси — значения напряженности магнитного поля в плоскости эклиптики (y, z) и в плоскости, нормальной к ней (x). Цифрами 1 и 4 обозначены места пересечения ударного фронта, цифрами 2 и 3 — пересечения границы «магнитопаузы». Область между цифрами 1 и 2 аналогична переходной области между ударным фронтом и границей магнитосферы у Земли. За цифрой 4 располагается область невозмущенных полей солнечного ветра



цессы кристаллизации, приводит в действие динамо.

Наконец, существует предположение, что ни один из тепловых источников конвекции не может быть привлечен в качестве источника энергии для земного динамо из-за низкого коэффициента полезного действия. Согласно этому предположению, земное динамо приводится в действие прецессионным движением Земли. Прецессия оси вращения Земли с периодом 25 600 лет вызвана гравитационными полями Солнца и в большей степени Луны. В конечном счете энергия для прецессирующего динамо идет из запасенной в земном вращении кинетической энергии. Оценки мощности земного динамо в работах различных авторов отличаются на порядки величин. Поэтому пока нет основания исключать любой из перечисленных механизмов. Возможно, что вклад какого-либо из них преобладает.

Таким образом, модели земного динамо ограничивают распространенность магнитных полей, созданных механизмом динамо, некоторыми условиями. По-видимому, «магнитная» планета непременно должна отличаться большим жидким проводящим ядром, значительной скоростью углового вращения и, как следствие, — динамическим сжатием. Кроме того, необходимо допустить существование одного или совокупности следующих условий: достаточное для поддержания тепловой конвекции количество радиоактивных элементов, продолжающаяся дифференциация вещества, массивный спутник у планеты (или значительное неоднородное гравитационное поле).

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ОКРЕСТНОСТИ МАРСА

«Маринер-4» пролетел от Марса слишком далеко. Его магнитометр не обнаружил признаков собственного магнитного поля планеты. Трехкомпонентный магнитометр «Марса-3» при прохождении области перицентра орбиты (высота орбиты в периарии была 1100 км) зафиксировал изменения поля. Примерно такие же изменения (и несколько большие) регистрировались в области перицентра каждый раз, когда включался и магнитометр «Марса-2». Его орбита изменялась мало, а высота периарии также приблизительно равнялась 1100 км.

Результаты «Марса-3» укладываются в схему, напоминающую хорошо знакомое изменение поля при движении магнитометра из свободного космического пространства к земному магнитному полю с солнечной стороны. Так обтекание сверхзвуковым потоком маленькой модели самолета в аэродинамической трубе повторяет процесс обтекания газовым потоком большого лайнера при сверхзвуковом полете.

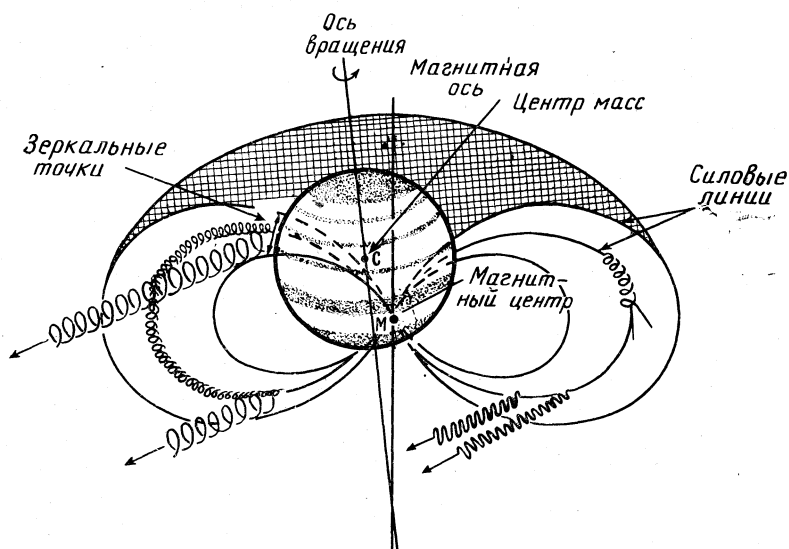
Магнитное поле спокойного солнечного ветра на расстоянии орбиты Земли характеризуется величиной 4—5 γ, а на расстоянии орбиты Марса 3—4 γ. Поле «вытянуто» из Солнца потоком протонов, скорость которых около 400 км/сек. Оно закручено вращением Солнца. На орбите Земли угол спирали равен 45°, на орбите Марса — 59°.

В трехкомпонентном магнитометре, установленном на «Марсе-3», два датчика измеряли поле в плоскости эк-

липтики, а третий — перпендикулярно эклиптике.

Чтобы отчетливо понять результаты наблюдений магнитометра вблизи Марса, подробно разберем магнитограммы, зарегистрированные спутником IPM-1 (США) при движении к земному магнитному полю с солнечной стороны. Этот спутник нес трехкомпонентный магнитометр, датчики которого были ориентированы так же, как и на «Марсе-3».

Как известно, спутник IPM-1 провел длительные исследования земного магнитного поля с дневной и ночной стороны, обнаружил положение ударного фронта у Земли, переходную область и границу магнитосферы. Магнитограммы спутника IPM-1 интерпретируются следующим образом. На расстоянии, равном примерно 16 земным радиусам, резко увеличилась величина и флуктуации поля во всех компонентах. В этот момент магнитометр спутника пересек ударный фронт, возникающий впереди Земли. Значит, солнечный ветер встретил препятствие — магнитное поле Земли, но не ее ионосферу. Поэтому, ударный фронт и образовался так далеко от Земли. Магнитометр, продолжая двигаться к Земле, зафиксировал флуктуирующее поле. Это все еще солнечное поле. После ударного фронта поток частиц из сверхзвукового стал дозвуковым. Поле сжалось, усилилось. Степень усиления зависит от направления на Солнце, угла спирали и природы препятствия, а степень флуктуации — от соотношения плотности энергии поля и плазмы. На расстоянии около 10 земных радиусов в некоторых компонентах поля наблюдался резкий скачок, после че-



го магнитометр «зашкалился». Прибор пересек границу магнитного поля Земли — магнитопаузу. На восходящем витке магнитограмма изменилась в обратном порядке, но теперь магнитопауза пересекалась на расстоянии 13,6, а ударный фронт на 19,7 земного радиуса. С солнечной стороны земное поле ограничено. Лишь на ночной стороне оно вытянуто очень далеко за орбиту Луны. Все это напоминает хорошо известную современному читателю модель обтекания Земли солнечным ветром.

Нетрудно обнаружить очевидную

аналогию в изменениях поля вдоль орбиты, если рассмотреть магнитограмму «Марса-3», полученную 21 января 1972 года. На магнитограмме можно выделить несколько участков с характерными особенностями поля. Вначале его полная величина составляла 2—3 γ и флуктуации были незначительными, что хорошо соответствовало условиям измерения межпланетного поля на расстоянии орбиты Марса. При дальнейшем движении планеты величина и флуктуация поля увеличились примерно вдвое. Область такого увеличения аналогична переходной области между ударным фронтом и границей магнитосферы у Земли. Резкие изменения поля по величине и направлению происходили в граничных областях магнитосферы, между которыми магнитное поле достигало наибольших значений с макси-

мумом вблизи периария. При дальнейшем удалении от планеты ситуация повторялась до тех пор, пока магнитометр вошел в область невозмущенных полей солнечного ветра.

Но, может быть, магнитометр в ближайшей окрестности Марса регистрировал межпланетное поле, усиленное и деформированное после ударного фронта? Разобраться помогут оценки максимально возможной величины усиления поля и положения ударного фронта.

Пусть n , m и v , соответственно, — число, масса и скорость частиц солнечного ветра, тогда магнитное поле может быть усилено максимально до величины $B = (8\pi n m v^2)^{1/2}$. Если воспользоваться данными измерений плазмы, то окажется, что величина поля, подсчитанная по приведенной формуле, достигнет 18 γ, то есть меньше, чем измерил магнитометр «Марса-3» 21 января 1972 года.

Более важным критерием служит положение ударного фронта. Расчеты показывают, что если препятствием солнечному ветру служит ионосфера Марса, то расстояние ударного фронта в подсолнечной точке составляет приблизительно 1400 км от поверхности Марса, то есть на 1000—2000 км меньше расстояния, определенного по магнитометру при малых углах к направлению Солнце — Марс.

В апреле 1972 года высота периария орбиты спутника «Марс-3» увеличилась на 1000 км. Спутник достиг периария точно в полдень. На магнитограммах 6 и 18 апреля также отмечены пересечения ударного фронта, флуктуирующее слабое поле переходной области. Однако больших полей не было, хотя магнитометр

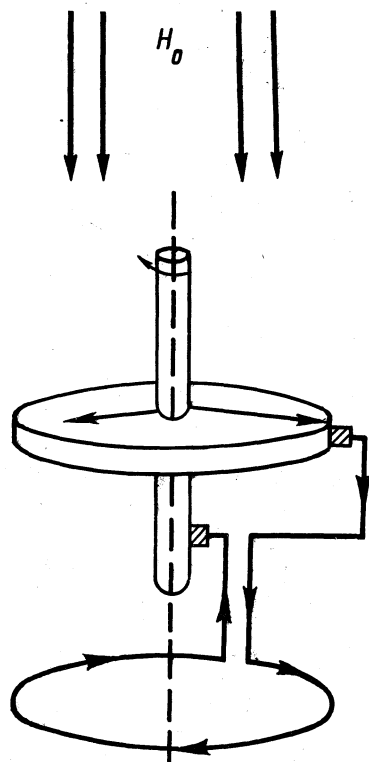
Магнитосфера и радиационные пояса Юпитера по данным нетеплового излучения. На модели показано несовпадение осей вращения магнитного центра и центра масс

спутника «Марс-2», орбита которого не менялась в сеансах 23 апреля и 12 мая 1972 года, продолжал показывать в области периария большие поля. Стало быть, граница магнитосферы на полуденном меридиане ближе к поверхности планеты, чем периарий «Марса-3». Поле с солнечной стороны ограничено. Это доказывает его «марсианское» происхождение.

Предполагая, что поле в значительной своей части принадлежит Марсу, можно отыскать средние значения дипольных коэффициентов Гауссова ряда, а затем характеристику дипольного поля на экваторе (H_0) и магнитный дипольный момент планеты M_M . Вычисления дали $H_0 = 64 \gamma$, $M_M = 2,47 \cdot 10^{22} \text{ гс} \cdot \text{см}^3$.

Теперь можно попытаться сравнить наблюдаемое и рассчитанное положение ударного фронта, имея в виду, что препятствием солнечному ветру служит собственное магнитное поле Марса.

Если известны M_M или H_0 , плотность и скорость частиц солнечного ветра, то формулы газодинамики позволяют определить положение ударного фронта и границы магнитопаузы. Вычисленные значения оказались в удовлетворительном согласии с наблюдаемыми. Таким образом, совокупность данных о величине и направлении поля, положении ударного фронта и интенсивности солнечного ветра, границ препятствий наиболее естественно объясняются, если предположить, что планета Марс обладает собственным магнитным полем с дипольным моментом $2,5 \cdot 10^{22} \text{ гс} \cdot \text{см}^3$ и напряженностью на экваторе около 60γ . Но столь малый дипольный мо-



мент и поле, меньшее по интенсивности в 500 раз по сравнению с земным, требуют объяснения.

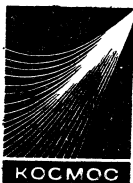
Механическая модель простого динамо, иллюстрирующая принцип самовозбуждения поля. При вращении проводящего диска в начальном однородном поле H_0 , параллельном оси вращения, в диске индуцируется электродвижущая сила. В проводящем контуре, соединенном с диском скользящими контактами, потечет ток, магнитное поле которого при подходящем выборе направления контура усилит начальное поле H_0 . Усиление ограничивается потерями на джоулево тепло, которое выделяется во время протекания тока по контуру, имеющему определенное сопротивление

Нынешние модели внутреннего строения Марса, модели планетарных динамо и их движущих источников позволяют объяснить современное малое дипольное поле Марса. Рассуждения сводятся к следующему. Марс имеет жидкое проводящее ядро. Естественно допустить, что оно меньше по размеру и значению проводимости. Если мотором планетарного динамо служит прецессия оси, то скорость прецессии Марса примерно в 7 раз меньше, чем Земли. Указанные обстоятельства могут обусловить существование планетарного динамо меньшей мощности, но действующее в современную эпоху.

Менее вероятно, но все же возможно, что Марс в своей космической истории проходит период обращения знака, подобно тому, как это было в земном магнитном поле.

Если планетарное динамо не приводится в действие прецессией, то другие упомянутые выше механизмы могли «остановиться». Допустимо, что у Марса в прошлом существовало поле типа динамо. Горные породы как бы «запомнили» это событие в космической истории планеты, а магнитометры зарегистрировали палеомагнетизм планеты. Последний вариант магнитного поля не связан с механизмом магнитного динамо, а имеет другую природу (поле, например, может вызываться химическими или термическими источниками электродвижущей силы).

Некоторые из перечисленных выше предположений выглядят менее правдоподобно, другие — более правдоподобно. Будущие эксперименты сократят число предположений.



Д. Ю. ГОЛЬДОВСКИЙ

Научные итоги программы «Аполлон»

Полетом космического корабля «Аполлон-17» завершились американские лунные экспедиции по программе «Аполлон». Шесть раз высаживались космонавты на Луне. Координаты посадок сообщались ранее*.

В общей сложности все экспедиции пробыли на Луне примерно 300 часов, из них 80 часов — это время выхода космонавтов на поверхность. На Луне установлено шесть комплектов научных приборов, пять продолжают работать, используя в качестве источника тока радиоизотопные энергетические установки. Сейсмометры, магнитометры и лазерные отражатели составляют измерительные сети на поверхности Луны.

Таковы основные количественные итоги лунных экспедиций. Что касается качественных, то в некоторых зарубежных источниках можно встретить очень сдержанную их оценку. Но подобная оценка вряд ли справедлива. Трудно предположить, что ученые надеялись уже после нескольких полетов познать все тайны мироздания. А в той мере, в какой лунные экспедиции могут внести реальный вклад в изучение Луны, они свою задачу выполнили. Информация, переданная экспедициями «Аполлон» и советскими автоматическими станциями, которые вели исследования на поверхности Луны и на селеноцентрической орбите, способствовала расширению наших знаний о Луне, хотя кардинальные проблемы происхождения и эволюции Луны все еще не решены. Надо учесть еще, что углубленное изучение богатого научного

«урожая», собранного на Луне, еще только начинается. Достаточно сказать, что из 400 кг лунных образцов, доставленных космонавтами кораблей «Аполлон», исследовано, да и то весьма предварительно, не более 100 кг. Предстоят годы работы. И здесь уместно привести высказывание доктора У. Мюльбергера, руководителя геологическими исследованиями в последних экспедициях «Аполлон»: «Мы располагаем неоценимой возможностью в течение многих лет изучать и анализировать это невероятное богатство, чтобы выяснить, что же мы в действительности знаем о Луне и что хотим еще узнать...»

Доставленные с Луны образцы имеют возраст от 3,125 до 4,240 млрд. лет (в пределах точности применявшихся методов датировки). Это позволяет сделать два предположения. Во-первых, возраст Луны, очевидно, сравним с возрастом Земли и составляет примерно 4,6 млрд. лет. Во-вторых, вулканические явления на Луне, по-видимому, прекратились примерно 3 млрд. лет назад.

Со времени своего образования Луна «пережила» ряд этапов, среди которых можно выделить (по итогам изучения образцов) дифференциацию первичной кислой коры, возникновение гор как следствие древних магматических процессов, связанных с образованием анортозита, и формирование морей магматическими процессами, приведшими к образованию базальтов.

Дважды лунные экспедиции («Аполлон-16 и -17») специально высаживались в районах, где, по наблюдениям с селеноцентрической орбиты, ожида-

ли найти признаки недавней вулканической активности. И оба раза ожидания не оправдывались.

Несколько экспедиций провели сейсмическое зондирование Луны различными способами*. Очень важную информацию дало падение на Луну крупного метеорита 13 мая 1972 года. Вызванные его падением сейсмические колебания проникли на глубину более 1000 км. По характеру распространения колебаний предположили, что в зоне падения метеорита (близ кратера Фра Мауро) лунная кора простирается вглубь на 60 км (то есть она вдвое толще, чем под земными континентами). Ниже, до 960 км, располагается мантия. Под мантией лежит ядро. Если эта гипотеза верна, то диаметр ядра составляет неожиданно большую величину — приблизительно 1500 км. Ядро, как полагают, затвердело примерно 3 млрд. лет назад. Изучение электропроводности показало, что температура в недрах Луны не превышает 1000°С. Правда, сведения о температуре в лунных недрах значительно зависят от того, какую модель строения Луны приняли за исходную. Едва ли можно приведенную величину считать окончательной.

Напряженность магнитного поля Луны примерно в 1000 раз меньше напряженности магнитного поля Земли у экватора. Локальное повышение напряженности магнитного поля Луны в некоторых областях можно предположительно объяснить присутствием ферромагнитных тел под поверх-

* «Земля и Вселенная», № 1, 1973 г., стр. 40. (Прим. ред.)

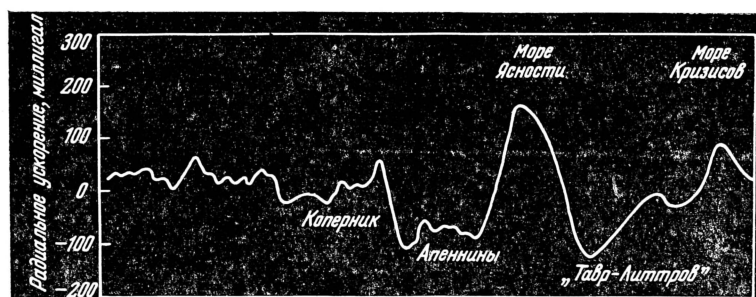
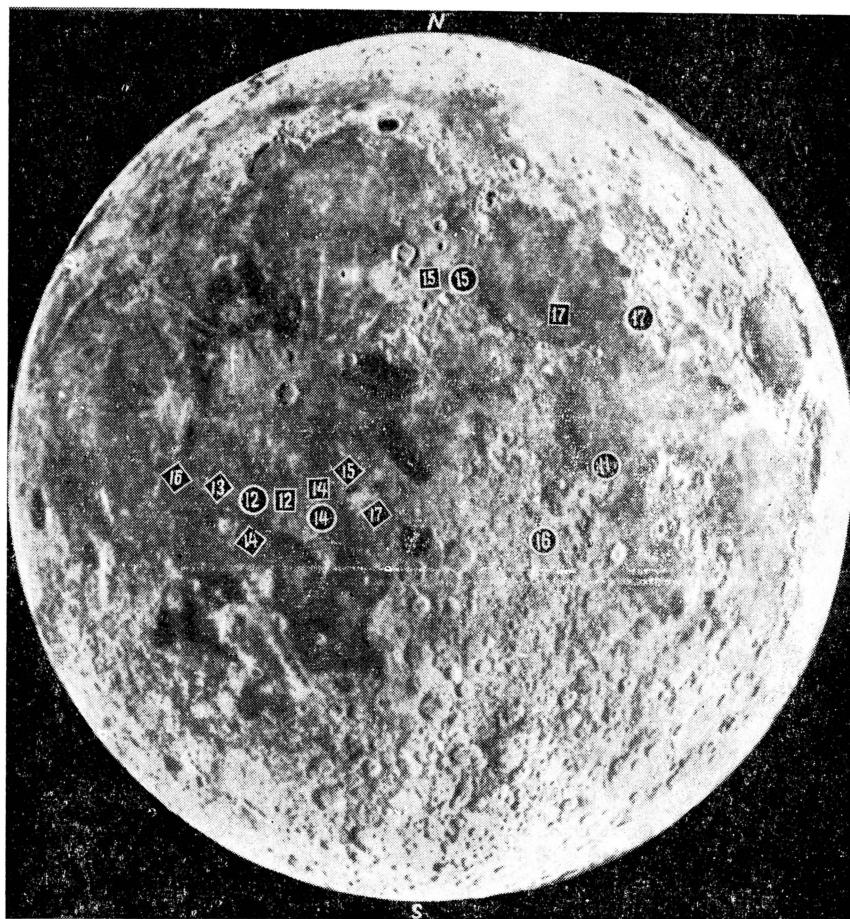
* И. Н. Галкин. Лунный сейсмический эксперимент. Статья опубликована в этом номере журнала. (Прим. ред.)

ностью. Что же касается магнетизма, обнаруженного в некоторых доставленных на Землю образцах грунта, то он, видимо, носит остаточный характер и связан с динамоэффектом, который мог возникнуть в ядре Луны, когда оно еще было жидким.

Лунная кора составляет почти 10% массы Луны и химически более однородна, чем земная (0,5% массы Земли). Считают, что на невидимой стороне Луны кора толще, чем на видимой. Вероятно, Луна в свое время была расплавлена на значительную глубину, и плагиоклазы, содержащие легкие алюминий и кальций, всплыли и, затвердев, образовали лунную кору. Не исключено, что после возникновения первичной коры в некоторых местах материковых районов вулканические материалы прорвались сквозь нее и сформировали верхний слой. В материковых районах Луны наблюдается высокое соотношение алюминия к кремнию, в то время как в морских районах содержание алюминия падает. Это говорит в пользу гипотезы, что материки — остатки первичной лунной коры. Они, возможно, состоят из анортозитов и анортозитовых габбро. В материковых районах радиоактивность значительно ниже, чем в морских.

Изучение аномалий гравитационного поля Луны показало, что «круглые моря» видимой стороны Луны характеризуются большой положительной аномалией. Это явление названо «масконами», то есть концентрацией массы*. Согласно одной из гипотез,

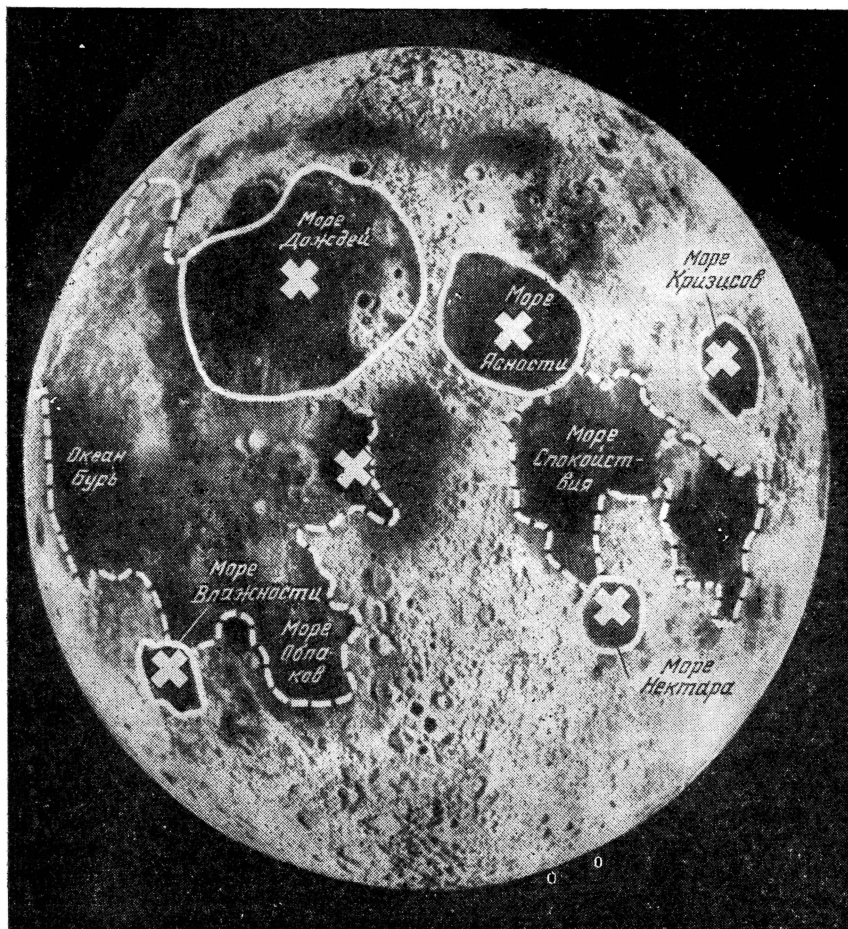
* В. С. Сафронов. Лунные масконы. «Земля и Вселенная», № 3, 1970 г. (Прим. ред.)



Места посадки лунных экспедиций на космических кораблях «Аполлон» (кружками показаны места посадки; ромбами обозначены места падения последних ступеней ракет-носителей; квадратами — места падения использованной взлетной ступени

лунной кабины; цифры соответствуют порядковому номеру корабля «Аполлон»)

Положительные гравитационные аномалии «круглых морей» на видимой стороне Луны



Поверхность Луны, по-видимому, всегда была сухой. При радиозондировании поверхностного слоя, проведенном экспедицией «Аполлона-17», не обнаружено льда, хотя, впрочем, его там никто и не ожидал. В свое время американская пресса опубликовала сенсационное сообщение о том, что в марте 1971 года установленные на Луне детекторы ионов зарегистрировали выброс паров воды у восточного края Океана Бурь. Позже восторжествовала более «трезвая» точка зрения, согласно которой приборы зарегистрировали не гейзеры, бьющие из недр Луны, а опустившееся на поверхность Луны облако водных паров искусственного происхождения. Облако возникло при сливе жидких отходов корабля «Аполлон», обращавшегося по селеноцентрической орбите.

Последние исследования показали, что ранее зарегистрированная «лунная атмосфера» тоже искусственного происхождения. Ее сформировали выбросы двигателей и других бортовых систем космических кораблей. Очень чувствительный ультрафиолетовый спектрометр на корабле «Аполлон-17» не зарегистрировал практически никакой атмосферы. Очевидно, дегазация Луны давно завершилась, а если где-то еще и происходит, то процесс носит локальный и эпизодический характер. Конечно, в этом случае дегазация настолько незначительна и рассеяна, что обнаружить ее практически нельзя.

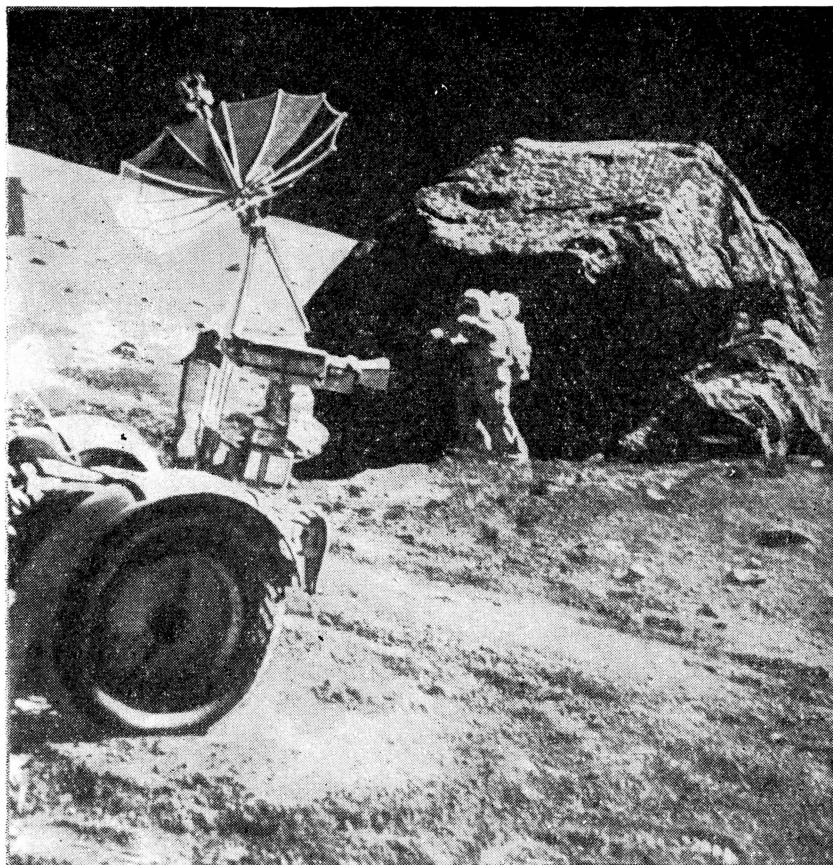
Итак, мир без воды и без атмосферы. Нет никаких признаков жизни на Луне ни в прошлом, ни в настоящем. Оказались совершенно ненужными очень сложные и тщательно разрабо-

это — моря ударного происхождения, а образовавшие их огромные метеориты внедрились в поверхность Луны и вызывают положительные гравитационные аномалии. Считают, что на ранней стадии Луна подвергалась бомбардировке космическими осколками различных размеров — от пылевидных частиц до небольших планет. В Океане Бурь нет аномалии гравитационного поля, по ряду признаков он отличается от круглых морей. Очевидно, происхождение Океана Бурь — не ударное.

Лазерные высотомеры, производившие зондирование Луны с селеноцентрической орбиты, показали, что видимая ее сторона лежит, как правило, ниже основной уровенной поверхности (селеноида), а невидимая — выше*. Специалисты предположили, что это обусловлено земным тяготением, которое 4,5 млрд. лет назад, когда происходило образование лунной коры, было почти таким же, как и в настоящее время. Однако на невидимой стороне выявлена депрессия, протянувшаяся в меридиональном направлении на 50°.

* Н. А. Чуйкова. Фигура Луны. Статья опубликована в этом номере журнала (Прим. ред.)

Расположение «круглых морей»



танные меры биологической защиты против микроорганизмов, которые, как полагали, могли быть занесены с Луны на Землю. После полета корабля «Аполлон-14» космонавтов на Земле уже не встречали как потенциальных носителей губительной инфекции.

Мы перечислили чрезвычайно кратко, схематично и упрощенно только основные результаты исследований лунных экспедиций на кораблях «Аполлон». Еще предстоит обработать сотни килограммов образцов и километры пленок. Часть образцов заложена на длительное хранение. Анализ их начнется лишь после того, как будут весьма существенно усовершенствованы нынешние аппаратура и методы.

Научная ценность полетов кораблей «Аполлон» несомненна, хотя даже американские ученые сначала относились к лунным экспедициям весьма скептически. Наибольший научный успех имел полет «Аполлона-17». И вот, как говорится, «на самом интересном месте» лунные экспедиции пришлось прекратить в основном по финансовым соображениям. Затрачено 25 млрд. долларов: каждый новый полет обходился почти в полмиллиарда. И сейчас в США нет никакой программы дальнейшего изучения Луны ни пилотируемыми, ни автоматическими космическими аппаратами.

Жена на длительное хранение. Анализ их начнется лишь после того, как будут весьма существенно усовершенствованы нынешние аппаратура и методы.

Космонавт-геолог Х. Шмитт у большого лунного камня (экспедиция на «Аполлоне-17»)

ПЕРВЫЙ ЭКИПАЖ «СКАЙЛЭБА» (Обзор зарубежных сообщений)

Орбитальные станции типа «Скайлэб» предназначены, прежде всего, для исследования влияния длительного космического полета на организм человека, проведения научных исследований, отработки и испытаний космической техники.

Станция «Скайлэб» весит 77 т (без обтекателя, который сбрасывается при выводе на орбиту), ее длина на орбите составляет примерно 25 м, максимальный диаметр 6,6 м, общий объем помещений с искусственной атмосферой свыше 300 м³. В лабораторном отсеке высотой 6 м и диаметром 6,6 м имеются два противоположащих шлюза — «солнечный» и «анти-солнечный». Через них научные приборы выносятся в открытый космос без разгерметизации станции. Бытовой отсек делится на помещения для сна, личной гигиены, проведения экспериментов, досуга, приема и приготовления пищи. Лабораторный и бытовой отсеки вместе с емкостью для сбора отходов составляют блок станции. Блок окружен цилиндрическим метеородным экраном из тонких (0,6 мм) алюминиевых панелей, которые на орбите специальными рычагами отодвигаются от корпуса на 12 см.

В систему ориентации и стабилизации «Скайлэба» входят микродвигатели, работающие на сжатом азоте, и силовые гироскопы, а в систему наведения астрономических приборов, кроме того, и электромоторы.

Впервые в американской практике пилотируемых полетов на «Скайлэбе» создана не чистокислородная, а кислородно-азотная атмосфера. Давление атмосферы 0,35 атм, при этом парциальное давление кислорода равно 0,26 атм, азота 0,09 атм. Таким образом, хотя давление внутри станции в 3 раза меньше атмосферного на уровне моря, парциальное давление кислорода даже несколько выше, чем на Земле. Комфортная температура воздуха внутри станции 21°.

(Продолжение на стр. 46)



Кандидат физико-математических наук
Н. А. ЧУЙКОВА

Фигура Луны

ЧТО ТАКОЕ ФИГУРА ПЛАНЕТЫ?

Прежде чем говорить о фигуре Луны, следует уточнить, что мы понимаем под словом «фигура». Для планет существует по меньшей мере три фигуры: физическая, динамическая и гидростатическая. Физическая фигура определяется рельефом планеты. Ее можно считать известной, если известны высоты и координаты точек поверхности планеты. Поскольку физическая фигура имеет неправильный и сложный вид, ее обычно заменяют близкой к ней геометрической фигурой — шаром, эллипсоидом и так далее. Динамическая фигура планеты тесно связана с ее уровенной фигурой, на поверхности которой постоянен потенциал силы тяжести. Если на планете имеются водные пространства, то их поверхность совпадает с уровенной. Такая основная уровенная поверхность на Земле называется геоидом. Для Луны, по аналогии с Землей, вводится понятие селеноида, хотя открытых водных пространств там нет. И наконец, можно рассматривать планету как изотермическое жидкое тело, массы которого взаимодействуют по закону всемирного тяготения. Уровенная поверхность жидкой планеты получила название гидростатической.

Зачем нужно знать столько различных фигур Луны? Чисто научный интерес заставлял ученых еще с древних времен устремлять взоры, а затем и телескопы на Луну. Они пытались понять, что это — диск или шар и что собой представляют темные пятна на Луне. Сейчас изучение фигуры Луны имеет большое практическое значение. Посылая космиче-

Чтобы осуществлять успешные посадки космических аппаратов на поверхности Луны и надежнее судить о внутреннем строении нашего естественного спутника, нужно знать фигуру Луны.



ский аппарат в какой-нибудь район Луны, мы должны заранее точно представлять, что ждет его в месте посадки: гора или низина, ровная поверхность или наклонная и на каком расстоянии она будет находиться от космического корабля. Невозможно обеспечить мягкую посадку корабля на планету, если не известна ее физическая фигура.

А уровенная поверхность? Казалось бы, зачем нужно знать ее на Луне? Ведь только на Земле водные пространства занимают $\frac{3}{4}$ поверхности и практически удобно все отсчеты высот вести от уровня моря, то есть от уровенной поверхности планеты. Поэтому уровенную поверхность нужно знать и как поверхность отсчета, и как поверхность большей части Земли. А на Луне нет воды, и лунные моря — это совсем не моря в земном понимании.

Однако, чтобы определить местоположение на Луне (как, впрочем, и на любой другой планете), требуется установить направление отвеса, или уровенную поверхность, проходящую через точку наблюдения. И если неизвестно положение уровенных поверхностей в точках наблюдений, могут быть получены ошибочные данные о координатах и высотах этих точек, а в итоге неточно определен и рельеф планеты. Кроме того, чтобы рассчитать затраты энергии для движущихся по планете аппаратов, нужно знать динамические разницы высот на всем пути. Их определяют как расстояния между уровенными поверхностями, проходящими через точки пути.

Помимо практического интереса, сравнение двух поверхностей — физической и уровенной — может дать информацию о внутреннем строении планеты. Так, у планеты, однородной по составу или обладающей сферическим распределением плотностей, возвышенностям физической поверхности должны соответствовать повышения уровенной поверхности, низменностям — понижения. Однако если внутри планеты имеются области с

повышенной или пониженной плотностью, то соответствие может нарушиться. По степени отклонения уровня поверхности от физической можно судить о характеристиках этих областей — их избыточной массе, форме и расположении внутри планеты.

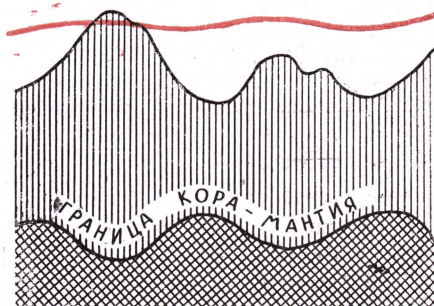
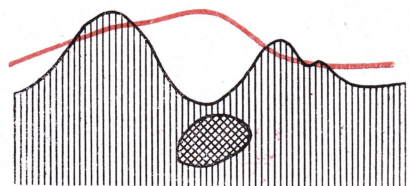
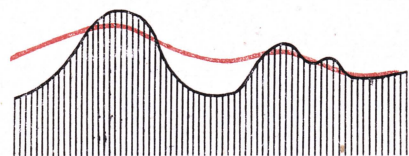
Сравнивая физическую поверхность с уровенной, можно также установить, находится планета в изостатическом равновесии или нет. Напомним, что Земля изостатически скомпенсирована, то есть всякому избытку масс в поверхностном слое планеты (например, горным массивам) соответствует их недостаток под поверхностью и, наоборот, недостаток масс (низменности) — избыток где-то в глубине*. В этом случае высоты физической поверхности почти не влияют на форму уровенных поверхностей планеты. После того как удастся определить, существует ли в теле планеты изостатическая компенсация, можно делать выводы о строении подкорковых слоев планеты: состоят ли они из вязких пород, позволяющих выравнивать давление слоев коры различной мощности, или, наоборот, тверды и прочны и выдерживают нагрузку на кору.

И наконец, отличие уровенной поверхности от гидростатической свидетельствует о внутренних напряжениях в теле планеты, величина которых также позволяет судить о прочности и вязкости пород.

СФЕРА, ЭЛЛИпсоИД ИЛИ ЧТО-ТО БОЛЕЕ СЛОЖНОЕ?

До запуска искусственных спутников Луны и космических аппаратов к Луне изучением ее фигуры занимались во всех странах лишь отдельные ученые. Естественно, что данные о лунной фигуре были весьма неточными и неполными. К тому же с Земли можно видеть лишь одно полушарие Луны. На основе измерений телескопических снимков видимого полушария было построено несколько каталогов высот приметных точек лунной поверхности (кратеров) с весьма низкой точностью, 1—2 км. В результате математической обработки данных каталогов было найдено, что геометрическая поверхность видимого полушария Луны лучше всего представляется сферой со средним радиусом 1738 км.

Однако первые же посадки космических аппаратов на Луну дали неожиданный результат для ее радиуса — 1735—1736 км. Казалось, что общепринятый радиус Луны сильно завышен. Но было предложено и другое объяснение такого различия. Дело в том, что по наблюдениям с Земли мы получаем средний радиус Луны в системе координат, связанной с центром геометрической фигуры. По спутниковым же измерениям все данные вычисляются относительно центра масс Луны. Поскольку космические аппараты прилунялись главным образом в экваториальной зоне видимой стороны, то расхождение в радиусах могло свидетельствовать о смещении центра масс Луны относительно центра ее геометрической фигуры примерно на



2—3 км в сторону Земли. Измерения на обратной стороне Луны сразу же подтвердили вывод об асимметрии расположения центра масс внутри Луны. Во время облета Луны «Аполлоном-8» был определен лунный радиус на обратной стороне. Он составил 1740 км!

Уточнить величину среднего радиуса Луны и положение центра масс позволили измерения высот лунной

Расположение физической и уровенной поверхности (показана цветной линией) планеты при различном состоянии ее недр (сверху — вниз): планета однородна; внутри планеты имеются области с плотностью выше плотности поверхностного слоя; массы коры изостатически компенсированы. Более плотная штриховка соответствует большей плотности пород

* М. Е. Артемьев. Изостазия. «Земля и Вселенная», № 3, 1970 г. (Прим. ред.)



поверхности, выполненные лазерным альтиметром, который был установлен на борту «Аполлона-15». Средний радиус по лазерным данным оказался равным 1737,1 км, центр масс смещен относительно центра фигуры на 1,8 км к Земле. С борта космических кораблей американские космонавты проводили оптические наблюдения Луны. После обработки этих наблюдений было получено, что средний радиус Луны составляет 1738 км, а центр масс смещен к Земле на 2,2 км. Итак, оптические и лазерные измерения дали примерно одни и те же результаты. Причины, вызвавшие и поддерживающие асимметрию расположения масс в теле Луны, до сих пор представляют загадку. Скорее всего, объяснение следует искать в древней истории Луны. Это явление тем более интересно, что для Земли центр масс и центр ее геометрической фигуры совпадают (в пределах точности измерений).

Попытки представить геометрическую фигуру Луны с помощью более сложной поверхности — эллипсоида, как принято для Земли, не привели к однозначным результатам. Лучше всего представлять физическую фигуру Луны в виде сферы с отдельными понижениями — морями (средняя глубина порядка 1—2 км) и возвышениями — горами. Максимальные высоты лунных гор достигают 4 км (Апеннины). Максимальные глубины в лунных морях около 3,5 км (Море Кризисов). Моря обладают более ровной структурой дна, чем горные области, поэтому и посадки космических аппаратов обычно осуществляются на лунных морях. С Земли моря отчетливо видны как темные пятна.

Обратную сторону Луны человек впервые увидел лишь в 1959 году, после полета советской автоматической станции «Луна-3», которая сфотографировала $\frac{2}{3}$ обратной стороны Луны. В отличие от видимой стороны, изобилующей морями, обратная сторона оказалась в основном гориста и неоднородна по своей топографии.

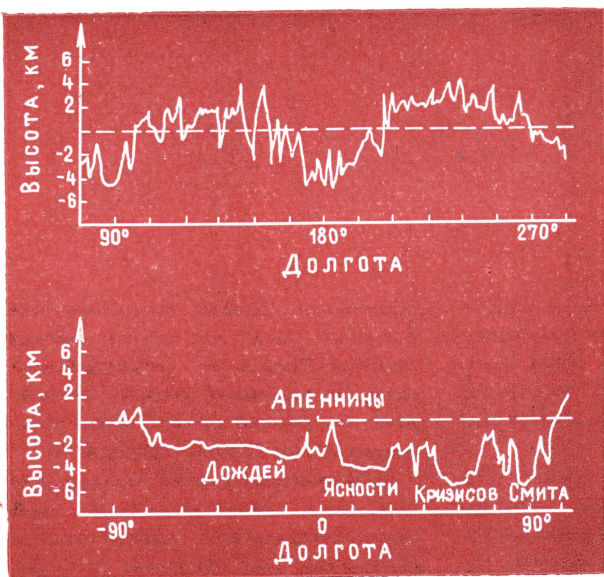
Альтиметрические и оптические наблюдения, проводимые с борта искусственных спутников Луны, дают возможность получить детальную и более точную по сравнению с телескопическими наземными наблюдениями форму физической фигуры Луны. Ведь высоты определяются с точностью до сотен метров. Правда, такими наблюдениями пока охвачена только экваториальная зона Луны. А измерения положений самих искусственных спутников Луны позволяют получить структуру ее уровенной поверхности, то есть определить высоты селеноида относительно выбранной средней сферы Луны.

До полета искусственных спутников Луны можно было определить только сжатие динамической фигуры. Как это делалось? Известно, что одна из главных осей инерции Луны не параллельна оси вращения. К тому же ось вращения Луны не перпендикулярна к плоскости ее орбиты. Поэтому при вращении вокруг собственной оси и вокруг Земли Луна, подобно волчку, покачивается. Эти покачивания и получили название физической либрации. Величина либрации как раз зависит от того, насколько главные моменты инерции Луны отличаются по величине. А разница моментов и характеризует сжатие динамической фигуры Луны.

После обработки наблюдений либрации оказалось, что сжатие Луны не соответствует тому, которое ожидалось на основе теории гидростатического равновесия. Сжатие динамической фигуры ($0,63 \cdot 10^{-3}$) в 17 раз превышает сжатие гидростатической. Этот вывод был подтвержден, когда обработали наблюдения первых лунных спутников. Для Земли это отличие весьма незначительное: сжатие гидростатической фигуры равно $1/299,67$, динамической — $1/298,25$.

Обнаруженное несоответствие указывает на то, что Луна в настоящее время далека от состояния гидростатического равновесия. Если предположить, что Луна — твердое тело, то нагрузка, вызванная отличием ее сжатия от гидростатического, приводит к разности напряжений в центре Луны порядка 20 бар, или $2 \cdot 10^7$ дин/см², что требует большой прочности пород ядра. На Земле такие разности напряжений можно встретить лишь в поверхностном слое, глубже повсюду лежит слой вязкого вещества, где разности напряжений близки к нулю, как в жидкости. В последнее время появились новые данные о строении глубоких недр Луны. По-видимому, она тверда до глубин порядка 800 км, а ядро ее, возможно, жидкое.

Доктор физико-математических наук Б. Ю. Левин предложил гипотезу, согласно которой Луна находится не в гидростатическом, а в изостатическом равновесии, и поэтому нужно говорить не о гидростатической, а об изостатической фигуре Луны. Фигура считается изостатической, если вес единичных столбцов вещества, взятых от поверхности до центра по любому радиусу, одинаков. Изостатическая

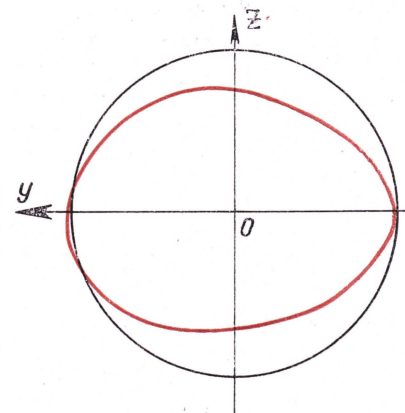
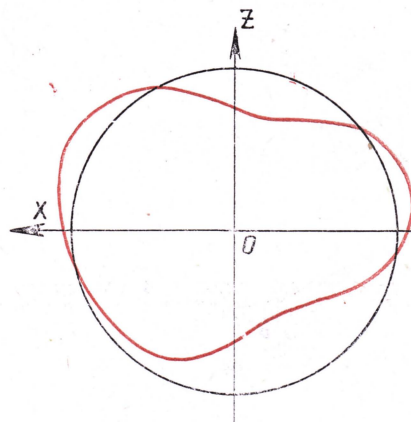


поверхность совпадает с гидростатической, лишь когда планета однородна. Однако если считать недра Луны полурасплавленными, то их плотность может быть меньше плотности лунной оболочки примерно на 1%. А из-за уменьшения температуры поверхностных слоев Луны от экватора к полюсам, вследствие меньшего нагрева Солнцем, толщина лунной коры в полярной области больше, чем в экваториальной. Поэтому изостатическое выравнивание Луны, вызванное большим весом коры на полюсе по

сравнению с экватором, ведет к сплюснутости Луны. Такую изостатическую фигуру можно подогнать к наблюдаемой динамической, если ввести разумные предположения о распределении температуры внутри Луны.

Первые же наблюдения за искусственными спутниками Луны обнаружили и другую удивительную особенность лунной динамической фигуры — асимметрию видимой и обратной сторон. Для селеноида характерна грушевидная форма с вытянутостью в экваториальной области обратной стороны. Дальнейшие наблюдения показали, что топография уровенной поверхности Луны очень сложна. Максимальные колебания высот селеноида относительно средней сферы Луны ± 500 м. Для сравнения укажем, что высоты геоида отклоняются от гидростатической поверхности лишь на $+106$ и -126 м («Стандартная Земля 1966»).

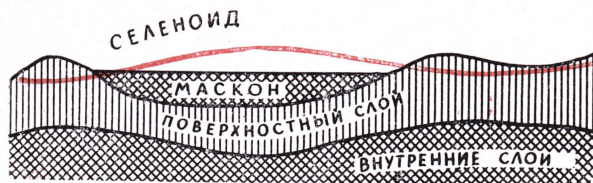
Надо думать, что такая сложная топография уровенной поверхности Луны обязана в основном неоднородностям строения ее твердой оболочки, более мощной, чем земная. Дав-



ление в центре Луны соответствует давлению на глубине примерно 180 км для Земли. Следовательно, поверхностный слой, то есть слой нерасплавленного твердого вещества, может занимать относительно большую часть общего объема Луны. Согласно сейсмическим данным, толщина этого слоя составляет 800 км и

Профили высот физической поверхности Луны в экваториальной зоне, полученные из лазерных наблюдений. Вверху — обратная сторона Луны, внизу — видимая. Высоты даны относительно средней сферы радиуса 1738 км и с центром в центре масс Луны. Хорошо прослеживается общее понижение высот на видимой стороне Луны. В области лунных морей отчетливо заметны понижения физической поверхности. В центре обратной стороны (долгота 180°) видна глубокая депрессия

Меридиональные сечения поверхности селеноида (по данным Э. Л. Акимина): вдоль линии Земля — Луна (вверху) и перпендикулярно лучу зрения. Фигура Луны имеет грушевидную форму и сжата в меридиональной плоскости. Отклонения от окружности увеличены в 1000 раз



приближается к 0,4 лунного радиуса. У Земли толщина коры составляет всего 0,018 земного радиуса. Поэтому вполне естественно, что уровенная поверхность Луны является весьма сложной и сильно отличается от гидростатической.

НАХОДИТСЯ ЛИ ЛУНА В ИЗОСТАТИЧЕСКОМ РАВНОВЕСИИ?

Сравнивая карты уровенной и физической поверхностей Луны, можно обнаружить интереснейшую особенность: районам лунных морей, то есть понижениям лунной физической поверхности, соответствуют повышения уровенной поверхности. Это особенно заметно в районах Моря Дождей, Ясности, Влажности, Нектара, Кризисов. Такое явление объясняется существованием под лунными морями больших избыточных масс, названных масконами*. Массы масконов,

Изостатическая компенсация лунных масконов. Под тяжестью лавы в лунном море поверхностный слой погружается в нижележащие слои вязкого вещества. Для сравнения внизу приведена схема изостатической компенсации земных понижений рельефа

* В. С. Сафронов. Лунные масконы. «Земля и Вселенная», № 3, 1970 г. (Прим. ред.)

оцененные путем измерения ускорений лунных спутников, меняются примерно от $5 \cdot 10^{18}$ г в Море Влажности ($0,7 \cdot 10^{-7}$ массы Луны) до $700 \cdot 10^{18}$ г в Море Дождей (10^{-5} массы Луны).

Есть ли масконы на обратной стороне Луны? Современные наблюдения не позволяют ответить на этот вопрос. Правда, сравнение профиля поверхности, полученного из лазерных наблюдений, и карты уровенной поверхности, построенной по спутниковым данным, свидетельствует, что здесь также понижению физической поверхности в центре обратной стороны соответствует повышение селеноида.

Таким образом, уровенная поверхность Луны не только отличается от гидростатической, но и не коррелирует с физической поверхностью. Поэтому можно сказать, что строение уровенной поверхности Луны обусловлено в основном неоднородностью недр. Вдобавок, открытие масконов приводит к выводу о существовании значительных напряжений в недрах Луны — наибольшие разности напряжений достигают сотен бар на глубине порядка 200 км. Все это, как будто, свидетельствует в пользу того, что Луна холодна до значительных глубин (иначе она не выдержит таких сильных напряжений) и, следовательно, там нет условий для изостатической компенсации.

Однако если мы сравним карты физической и уровенной поверхностей Луны для горных областей, то окажется, что положительным высотам физической поверхности здесь соответствуют положительные высоты селеноида. Причем, высоты селеноида

получаются гораздо меньшими, чем должны быть из оценки вклада рельефа Луны в ее гравитационное поле. По-видимому, можно утверждать, что горные области Луны в основном изостатически выровнены.

Американский ученый Г. Халм считает, что и лунные кольцевые моря могут находиться в изостатическом равновесии. Это возможно, если допустить, что внутри Луны существует слой вязкой лавы с плотностью, превышающей плотность поверхностных пород. Тогда, если кольцевые моря образованы ударами метеоритов, то сквозь трещины лунной коры лава может заполнить эти моря. Под ее тяжестью слой коры погружается в вязкую лаву. Поскольку плотность поверхностного слоя ниже плотности лавы, то в области погружения возникает недостаток масс (по сравнению с окружающей областью). Делая разумные предположения о толщине лавового слоя в лунных морях, о глубине залегания границы раздела твердой коры и вязкой лавы, о глубине погружения коры в лаву, можно получить над лунными морями значения гравитационных аномалий, совпадающие с наблюдаемыми. Согласно расчетам, выполненным Халмом, под лунной поверхностью на глубине 100 км в прошлом мог существовать слой вязкого вещества, аналогичный земной мантии, где происходило выравнивание нагрузок, вызванных как лунным рельефом, так и неоднородностями лунной коры. Факт существования границы кора — мантия внутри Луны на такой глубине подтверждают и некоторые сейсмические эксперименты.

Итак, сравнивая строение трех по-



«ИНТЕРКОСМОС КОПЕРНИК-500»

верхностей Луны — физической, уровенной и гидростатической, можно сделать очень интересные выводы о ее внутреннем строении. Однако эти выводы весьма неточны, а иногда и противоречивы из-за недостаточности и неточности исходной информации. До сих пор, например, нет еще точной привязки высот физической поверхности Луны к ее центру масс. И, конечно, совершенно недостаточна точность, с которой определяются из наземных наблюдений высоты рельефа Луны. Информация о высотах уровенной поверхности Луны, полученная по результатам наблюдений различных спутников, также весьма неточна и разнородна. К тому же орбиты искусственных спутников Луны расположены довольно-таки высоко над лунной поверхностью (выше 100 км), где гравитационное поле Луны сглажено, поэтому и уровенная поверхность, построенная по спутниковым наблюдениям, является весьма сглаженной. Дальнейшее развитие лунных космических исследований и, особенно, гравиметрические измерения на самой поверхности Луны позволят получить детальную структуру ее поверхности, причем не только уровенной, но и физической. Изучение их даст богатую и точную информацию о внутреннем строении Луны и поможет разгадать происхождение и эволюцию нашего естественного спутника.

19 апреля 1973 года в Советском Союзе запущен советско-польский искусственный спутник Земли «Интеркосмос Коперник-500». Это девятый космический аппарат, выведенный на орбиту по программе «Интеркосмос».

Очередной космический эксперимент посвящен 500-летию со дня рождения Николая Коперника. Корпус спутника украсил выпел с портретом великого польского ученого.

Польские и советские ученые предусмотрели совместное исследование спорадического радиоизлучения в диапазоне гектаметровых волн (0,6—6,0 МГц) с борта искусственного спутника Земли. Польские ученые из лаборатории Института астрономии в Торуни (родина Коперника) разработали радиоспектрограф. Это автоматический приемник, чувствительный к низкочастотному радиоизлучению Солнца в четырех диапазонах и снабженный четырьмя предантенными усилителями.

Советские специалисты создали комплекс ионосферных приборов: низкочастотный и высокочастотный ионосферные зонды. Высокочастотный зонд исследует ионосферу, ее неоднородности и вариации, а низкочастотный позволяет оценить возмущения, которые вызывает сам спутник в окружающей среде. Комплекс ионосферных приборов изготовлен в Институте радиотехники и электроники АН СССР и Научно-исследовательском радиофизическом институте (Горький). Наблюдения, проведен-

ные польской и советской аппаратурой, хорошо дополняют друг друга. Так, измерения радиоизлучения Солнца зависят не только от интенсивности солнечного потока, но и от изменения параметров приемных антенн спутника. Поэтому истинные характеристики радиоизлучения можно получить, лишь учитывая влияние параметров ионосферы, которые регистрируются советскими приборами. Орбиту спутника выбрали с тем расчетом, чтобы исключить влияние ионосферы на качество приема радиоспектрографа.

На борту спутника установили специальный телеметрический прибор, изготовленный специалистами ЧССР. Он предназначен для передачи оперативной информации о работе польского спектрографа.

Астрофизические и геофизические обсерватории социалистических стран в период спутникового эксперимента проводят синхронные наблюдения за Солнцем в различных диапазонах длин волн и за состоянием ионосферы. В работе участвуют ряд ионосферных станций, многие радиотелескопы (в том числе в Харьковский).

Комплексный эксперимент позволит дополнить существующие представления о физике Солнца, характере солнечно-земных связей и «космической погоде» в околоземном пространстве.

Первые научные результаты докладывались на конгрессе Международного астрономического союза в Польской Народной Республике в августе 1973 года на заседании, посвященном 500-летию Коперника.



Кандидат физико-математических наук
И. Н. ГАЛКИН

Лунный сейсмический эксперимент

СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН

Первый лунный сейсмометр был доставлен в Море Спокойствия 20 июля 1969 года экспедицией на «Аполлоне-11». Сейсмометр питался солнечными батареями и выключался на время лунной ночи. Последующие экспедиции привозили сейсмические станции, питаемые радиоизотопными энергетическими установками и работающие непрерывно. С декабря 1972 года на видимой стороне Луны функционирует сеть из пяти одинаковых станций. Каждая станция оборудована длиннопериодными и короткопериодными сейсмометрами, преобразователями сигнала в цифровой код, командно-программным и передающим устройствами. Приборы «чувствуют» ничтожное перемещение почвы, соизмеримое с размерами атома (10^{-8} см). На Земле при такой чувствительности аппаратуры вести наблюдения почти невозможно, так как мешают микросейсмы, волнение океана, ветер, промышленные механизмы. Луна — идеальный сейсмический полигон: здесь нет ни атмосферы, ни воды, ни активных тектонических процессов. Чувствительность приборов может быть увеличена в несколько раз.

Сейсмические наблюдения ведутся «пассивно» — запись лунотрясений, ударов метеоритов, и «активно» — разведка недр ударами, порождающими сейсмические волны.

Каждая экспедиция «Аполлон» производила два удара. Третья ступень ракеты «Сатурн», выводившая корабль к Луне, летела следом и сбрасывалась в нужную точку, производя удар, эквивалентный взрыву 10 т тро-

Стремясь познать нашу планету, ученые исследуют Луну. Здесь они надеются найти следы прошлого и увидеть будущее Земли. Один из важных методов изучения Луны — сейсмический.



тила. Падение лунного отсека порождало такую упругую волну, какая образуется после взрыва 800 кг тротила. Даже драматический полет «Аполлона-13», когда авария не позволила

сесть на Луну, для сейсмического эксперимента не остался безрезультатным: третья ступень ракеты «Сатурн» упала в 135 км от сейсмометра «Аполлона-12». Колебания искусственного «лунотрясения» были зарегистрированы.

В местах посадки «Аполлона-14, -16 и -17» проведена сейсмическая разведка верхней части Луны. Для этого использовались специальные гранаты, которые взрывали космонавты, и ракеты, запускаемые с оставленных на лунной поверхности установок по команде с Земли.

Сейсмические свойства лунных образцов тщательно исследовались в земных условиях под давлением, имитирующим состояние пород в недрах Селены.

СТРАННЫЕ СЕЙСМОГРАММЫ

Лунный отсек «Аполлона-12» прочертил в небе Селены пологую траекторию (космонавты уже перешли в основной блок) и стремительно упал на поверхность Луны. Удар! Поднялось многотонное облако пыли. Через 23 секунды вздрогнул маятник сейсмометра, еще через секунду сигнал приняли анализирующие устройства на Земле. Ученых ждал настоящий сюрприз: после удара космического аппарата колебание лунного грунта продолжалось более часа, а после падения третьей ступени ракеты-носителя «Сатурн» — целых четыре часа. Похожих записей на Земле не видели более чем за полувековую историю сейсмологии.

Амплитуда колебаний поверхности Луны сначала в течение нескольких минут растет, а потом очень медлен-

Миллиарды лет неуклонно удаляясь от Земли ее естественный спутник, но за последнее время он стал «ближе» и понятнее людям. На Селене найден самый древний камень, который позволяет как бы увидеть «младенческое» состояние Земли. Через несколько миллиардов лет, когда Земля достигнет «старости», она может стать такой же пассивной и холодной, как Луна

но ослабевает за 1—4 часа. Форма колебаний на вертикальном и горизонтальном сейсмометрах не повторяется. На Земле регистрация взрывов и землетрясений при расстояниях в несколько сот километров длится около минуты, если станция стоит на скальном грунте; в мощных осадках или ледяном покрове она не превышает десяти минут.

Появилось множество гипотез, предложений, статей. Новый автор — новая точка зрения. Теоретики подсчитали, что так долго может «звенеть» однородный шар из-за совместного эффекта отражения, рассеяния и дифракции волн от его искривленной поверхности. Специалисты по аппаратуре приписывали некоторые особенности записи специфике согласования емкостного датчика со схемой преобразования сигнала. В некоторых статьях объясняли длинную запись баллистическим эффектом: от удара поднялось многотонное облако пылинок, пронеслось над поверхностью и «просыпалось» дождем на сейсмометры. А журналисты в погоне за сенсацией изумляли читателей домыслами о Луне, «пустой» в центре.

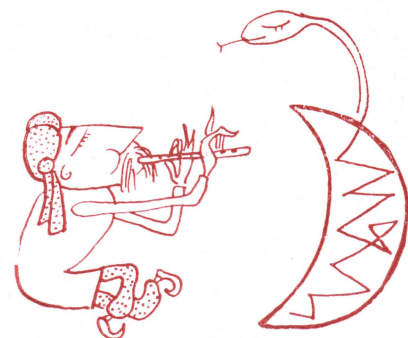
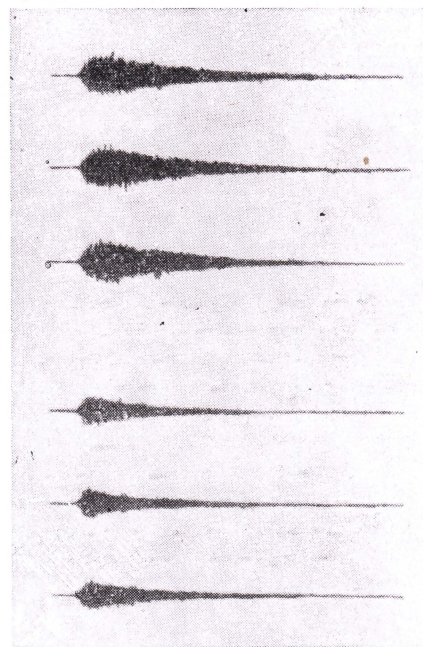
Наиболее правдоподобные объяснения выдвинула группа сейсмологов, объединенных НАСА для анализа лунных сейсмических материалов. Объяснения сводятся к следующему. Верхний слой лунного грунта разбит трещинами. Он неоднороден и «перепахан» метеоритами. Сейсмические волны в такой среде рассеиваются на мелких неоднородностях. Изначальный сигнал растягивается во времени. Процесс аналитически выражается уравнениями, аналогичными уравне-

ниям броуновского случайного блуждания частиц. Теоретическая расчетная кривая изменения амплитуд во времени весьма похожа на экспериментальную.

Для проверки гипотезы произвели моделирование распространения ультразвука в стальной пластине, испещренной случайно расположенными прорезями. Модельная кривая пополнила лунную.

В «перепаханном» верхнем слое лунного грунта сейсмические волны распространяются с очень низкими скоростями. А лежит он на плотном слое кристаллических пород, где скорости распространения высокие. Ученые подсчитали, что если слой этот имеет скорость поперечных волн менее 100 м/сек, а кристаллическая подстилка 1,8 км/сек, то образуются сейсмические поверхностные волны, которые испытывают дисперсию скоростей: длиннопериодная часть колебания опередит высокочастотную, причем для специфического разреза Луны на дистанции 135 км получается разница во времени 74 минуты.

Есть и еще один вариант объяснения долгого колебания лунной поверхности. Верхний низкоскоростной слой Луны представляет сейсмический «канал». Волны бегут по нему, многократно отражаясь от кровли и подошвы. Аналогичные эффекты известны и на Земле, например подводный звуковой канал в океане, обеспечивающий сверхдальнюю связь для мореходства. Но на Луне ситуация для пробега волн благоприятнее. Там нет ни воздуха, ни воды и ничтожно малы неупругие тепловые потери. Сейсмическая добротность — величина, обратная коэффициенту затуха-



ния, — в лунной коре оказывается в 30—100 раз больше, чем в земной, и даже немного выше, чем в мантии Земли. Действительно, стоило поместить земную породу в вакуум, добротность возросла в 5 раз. Вот и получается, что волны от ударов космических аппаратов, метеоритов и луно-



Лунные сейсмограммы удивительны. Колебания поверхности от удара или лунотрясения продолжаются несколько часов — столь долго и запутанно повествует Луна о тайнах своих недр

трясений бегут в рыхлом неоднородном низкоскоростном покрове Луны, рассеиваясь, диспергируя, многократно отражаясь, почти не теряя упругую энергию. И в ответ на каждый удар Луна звучит часами, раскрывая тайну своих недр. Анализируя сейсмограммы, сейсмологи решают две основные задачи: как устроена Луна и какова ее внутренняя жизнь.

АКТИВНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Первые сообщения о свойствах лунного грунта передали на Землю автоматические станции «Луна» и «Сервейер». Оказалось, что в слое пыли толщиной несколько сантиметров продольные упругие волны распространяются со скоростью 40 м/сек. Для них — это небольшая скорость.

Чтобы изучить разрез поглубже, экспедиция «Аполлона-14» провела специальные наблюдения. Волны, возбуждаемые в 1,5 км от сейсмометра, осветили глубины до 400 м. Удалось выделить несколько слоев: первый мощностью 8 м со скоростью продольных волн 104 м/сек, второй (с не точно определенной глубиной 20—75 м) — со скоростью около 300 м/сек, он разграничен резким переходом от более высокоскоростного слоя — 386 м/сек. Так сложена приповерхностная толща в морском районе Фра Мауро.

Нетерпеливо ждали ученые новой сейсморазведки в континентальном районе кратера Декарт. Ее провели космонавты «Аполлона-16». В верхнем слое континентальных пород (12 м) скорости пробега упругих волн

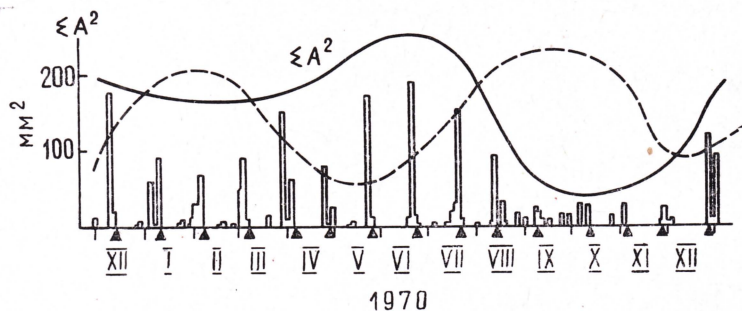


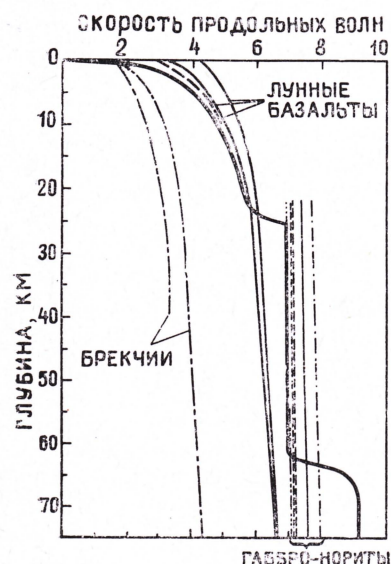
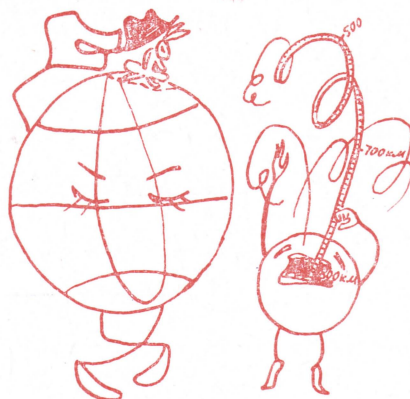
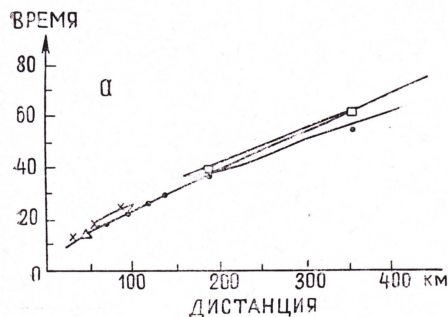
График зависимости квадрата амплитуды колебаний поверхности Луны (вертикальная ось) от времени года (горизонтальная ось). Максимальное выделение сейсмической энергии приурочено к моменту перигея — помечен треугольником. Сплошной кривой показана более длинная периодичность сейсмической энергии, соответствующая гравитационному полю Луны (пунктирная кривая)

Луна находится в плену гравитационных «объятий» Земли. Ежемесячно они становятся то крепче (в перигее), то слабее (в апогее). В эти периоды по трещинам перенапряженные породы ее недр соскальзывают — происходит слабое лунотрясение

114 м/сек. Под ним залегает 200-метровая толща, где скорость равна 250 м/сек. Учитывая погрешности в определении скоростей и мощности, можно сделать неожиданный вывод: свойства верхней части Луны одинаковы в разных районах. Скорости в самом верхнем слое близки к тем, которые зарегистрированы в придонных океанических илах Земли, состоящих из смеси трех фаз вещества — твердых частиц, жидкости и газа. На Луне природа верхнего слоя — реголита — иная. Он образовался в результате длительной бомбардировки поверхности метеоритами, которые буквально истолкли в пылевой порошок породы. Так как плотность метеоритного «дождя» в принципе одинакова по всей Луне, то и свойства слоя похожи. Нижележащий слой, по видимому, также обладает общей природой. Он представлен в основном брекчиями, имеет высокую пористость (35—55%) и трещиноватость, и образовался из осколков, разлетевшихся при ударах крупных тел. Последняя экспедиция на «Аполлоне-17» организовала сейсморазведку в другом континентальном районе, близ кратера Литтров. Особое внимание уделяли глубинам от 1 до 5 км.

ПУТЕШЕСТВИЕ В НЕДРА ЛУНЫ

Кора Луны пока изучена в районе Фра Мауро, где на расстоянии 180 км друг от друга расположены две сейсмические станции, оставленные экспедициями «Аполлона-12 и



Времена пробега волн (вертикальная ось верхнего графика) в зависимости от расстояния между точкой падения лунного отсека и сейсмометром (горизонтальная ось) составляют лунный годограф. В годографе намечаются особенные зоны — «петли» — на дистанции 60—100 и 150—347 км. Петлям соответствуют сейсмические границы на глубинах 25 и 65 км на скоростном разрезе (нижний график). Чтобы понять природу сейсмических слоев, разрез сопоставлен с кривыми изменения скорости упругих волн под давлением для различных пород. Верхний слой коры имеет скорости, близкие к наблюдающимся в базальтах, нижний — к габбро-нориту.

-14». Здесь удалось измерить время пробега волн в восьми точках на удалении от 67 до 350 км и по ним построить первый скоростной разрез Луны. Опыт зондирования Земли показывает, что при столь малой детальности наблюдений и точности измерения времен вступлений скоростной разрез оказывается неточным. Возможно много разновидностей решения этой «обратной сейсмической задачи», каждая из которых с заданной погрешностью совпадает с наблюдениями. Поэтому построенный разрез — лишь один из возможных вариантов интерпретации. Но он верен, так как для него была теоретически решена «прямая сейсмическая задача», то есть рассчитаны времена пробега волн, амплитуды колебаний и сама «синтетическая» сейсмограмма. Полученные расчеты мало отличаются от результатов наблюдений.

В первые полтора года с момента зарождения лунной сейсмологии все данные о коре нашего естественного

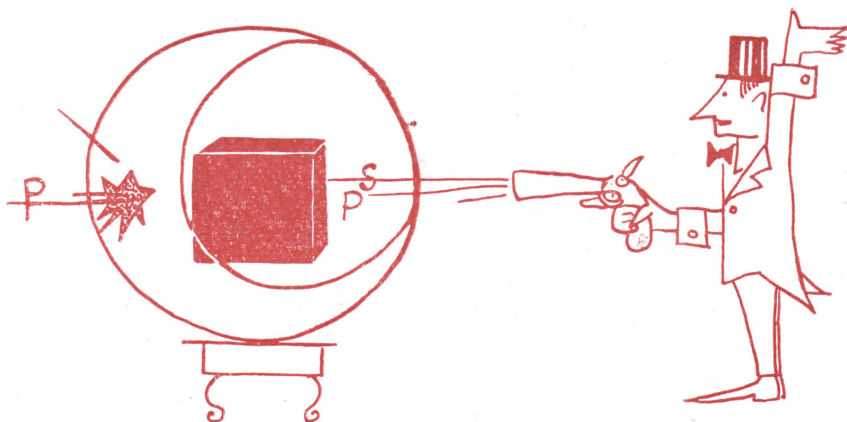
У землетрясений «фокусы» в основном приурочены к коре или верхней мантии (300—100 км), у лунотрясений они располагаются на необычно больших глубинах, 600—1000 км, где, по-видимому, вещество холодное и упругое

спутника исчерпывались двумя сейсмограммами станции «Аполлон-12». Тогда казалось, что никаких границ, подобных тем, которые обнаружены в коре Земли, на Луне нет. Времена пробега волн совпадали с теоретическими расчетами (в случае плавного роста скорости с глубиной). А именно такая закономерность получалась при лабораторных измерениях скоростей в образцах лунных морских базальтов, собранных экспедициями «Аполлона-11» и «Аполлона-12». Все можно было объяснить увеличением скорости по мере уплотнения базальтов. Специалисты по глубинному сейсмическому зондированию в обобщениях наблюдений не чувствовали себя уверенно, поскольку не могли опереться на границу раздела кора — мантия, как это делается на Земле.

Однако со временем лунный сейсмический эксперимент предоставил уточненные данные, и мнения изменились. На Луне, как и на Земле, выделили кору, состоящую из различных слоев.

Скорость распространения волн стремительно растет с глубиной, ее градиент очень велик. Ниже 5 км рост скорости становится плавным, а ее величина совпадает со скоростями в морских базальтах под давлением.

На глубине около 25 км что-то происходит с веществом Луны: в 3-километровом интервале скорость быстро увеличивается на 13%, а потом в 40-километровом слое остается почти постоянной и равной 7 км/сек. Когда лунные образцы изучали в лаборатории, таких скоростей не получали даже под давлением. Скорость 7 км/сек соответствует скоростям в земных габбро и габбро-норитах, поэтому



границу в лунной коре на глубине 25 км большинство сейсмологов объясняют сменой состава вещества коры в результате его дифференциации. Правда, существует еще одна точка зрения: именно на глубине 25 км достигается критическое давление около 1 кбар, при котором закрываются внутренние поры в породе и скорость может возрасти и без смены состава.

Граница коры и мантии на Луне, в Океане Бурь, залегает на глубине около 65 км. Она выделяется достаточно надежно. Если геологическое строение Океана Бурь типично для Луны в целом, то лунная кора толще, чем земная. Как известно, кора на Земле достигает 65 км лишь в горных районах, под океанами только 5—10 км, а на платформах континентов, как и в среднем для всей Земли, — около 40 км.

Данных о скоростях верхней части лунной мантии мало. Сейсмограмма от удара третьей ступени ракеты «Аполлона-15» показала непривычно большие скорости, 9 км/сек.

Сейсмологи долго ждали «слова» обратной стороны Луны. И вот удар метеорита в Море Москвы позволил заглянуть в таинственные глубины. Продольные волны (P) прошли сквозь Луну, а поперечные (S) нет. Можно предположить, что в центре Луны температура высока и вещество там расплавлено

13 мая 1972 года в 140 км севернее Фра Мауро упал крупный метеорит. Волны пробежали в верхах мантии Луны с первой земной космической скоростью (8 км/сек), и граница коры и мантии может быть объяснена (как и на Земле) переходом к ультраосновным породам оливинного типа.

Сейсмические данные о недрах мантии и ядре Луны эпизодичны и пока ненадежны. Волна от метеорита 13 мая прошла через всю мантию со средней скоростью не более 9 км/сек. Возможно, что скорость в мантии медленно растет с глубиной, а в некоторых участках убывает. На обратной стороне Луны в районе Моря Москвы 17 июля 1972 года упал крупный метеорит, волны от которого прошли сквозь всю Селену. Но вышли к поверхности видимой стороны лишь продольные волны. То же самое происходит во внешнем ядре Земли, которое на этом основании предполагается расплавленным. Предположение о расплавленном состоянии Луны на глубинах более 1100—1200 км укрепилось после регистрации четырех лунотрясений, которые происходили на обратной стороне нашего естественного спутника.

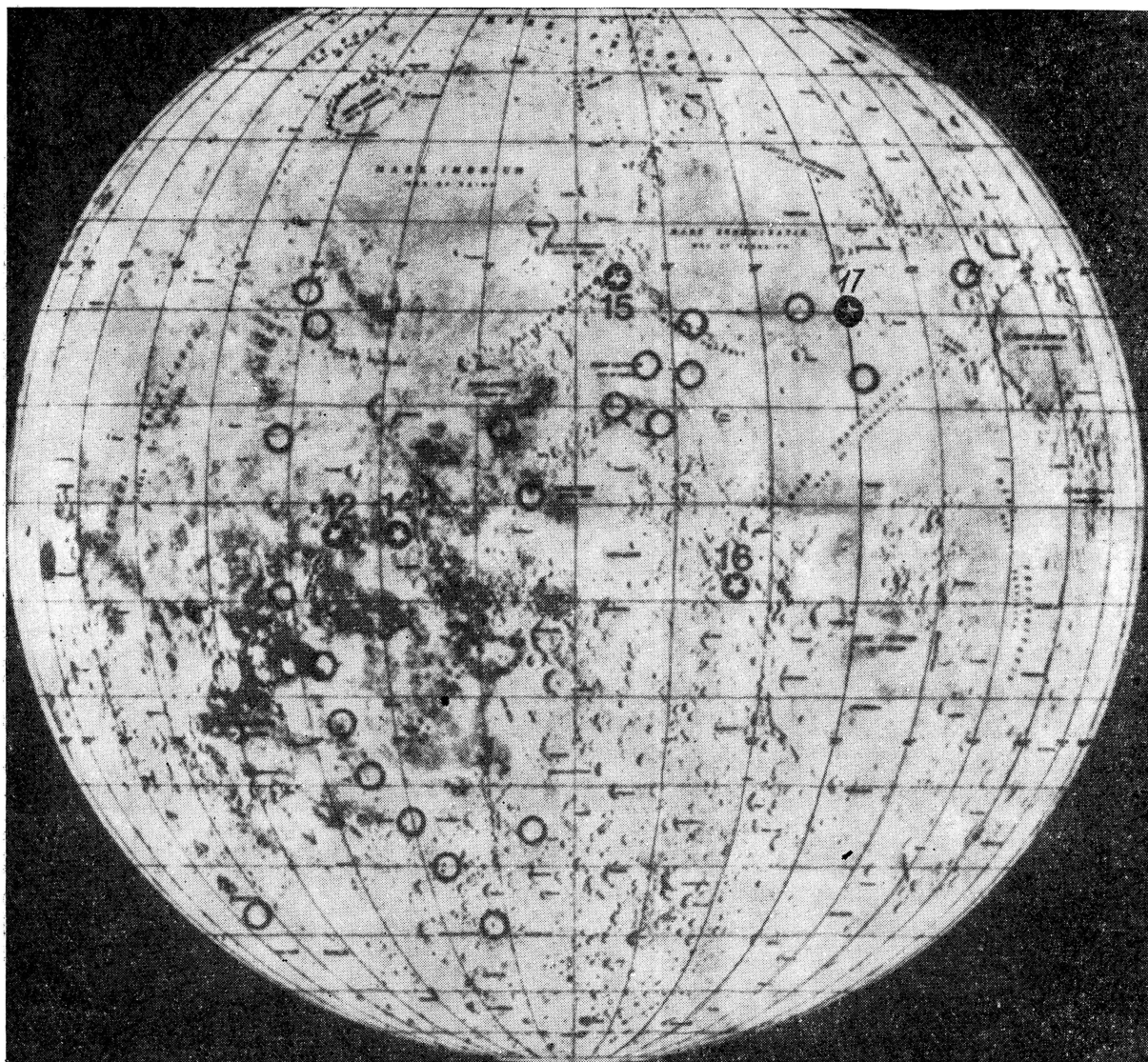
ЛУНОТЯСЕНИЯ

Земля и Луна — весьма дальние сейсмические родственники. О Зем-

ле можно сказать, что она в сейсмоактивных зонах почти непрерывно дрожит (сотни землетрясений в день!), Луна лишь «вздрагивает». Впрочем, и на Луне в разных районах — разная активность. Близ кратера Декарт регистрируется в среднем 3000 лунотрясений в год, в районе Фра Мауро вдвое меньше, в Апенниннах и Океане Бурь — 650. Все без исключения лунотрясения слабые, их максимальная энергия 10^9 — 10^{12} эрг (магнитуда 1—2 по шкале Рихтера), и приурочены к периоду перигея, когда приливные силы Земли, действующие на Луну, максимальны. Есть у сейсмической энергии лунотрясений и более долгая, 7-месячная периодичность, такая же как у ее гравитационного поля, связанного с Солнцем и планетами. Похоже, что силы гравитации играют в лунотрясениях роль спускового механизма.

Конечно, все это стало известно лишь после того, как научились различать сейсмограммы лунотрясений и ударов метеоритов. Записи лунотрясений устойчивы по форме, время нарастания амплитуд в начальной части короче, чем в записях ударов метеоритов, и не зависит от частоты, а главное — в записях лунотрясений, как правило, отмечаются вступления поперечных волн.

Самый большой сюрприз лунной сейсмологии — глубина очагов лунотрясений. Пока на Луне работали только две сейсмические станции, можно было говорить лишь о плоскости, в которой группировались эпицентры. Но вот установили сейсмометр в горном районе Апеннин. Три станции засекли гипоцентр на глубине 800 км. На Земле большинство землетрясений



происходит в коре или литосфере. На глубинах 700 км землетрясения случаются лишь в Курило-Камчатской зоне.

■
Эпицентры лунотрясений (кружки) группируются в двух протяженных зонах, занимающих дуги большого круга субмеридионального и северо-восточного направлений. Звездочками отмечены сейсмические станции

Зарегистрированные за два года очаги лунотрясений не выходят за пределы глубин 600—1000 км, а эпицентры образуют на видимой стороне Луны две кольцевые зоны по дугам большого круга: субмеридиональную и северо-восточного простира- ния. Характер записей лунотрясений из одного эпицентрального района отличается постоянством знака вступ- лений и большой стабильностью

формы на протяжении всего периода регистрации.

Лунная сейсмическая активность не ограничивается «перигейными» собы- тиями. Зарегистрированы серии сотря- сений, повторяющиеся через 2—3 ча- са в течение нескольких дней. Глуби- ны их очагов (не говоря о меха- низме) еще не определены. Их запи- си похожи на собственно лунотрясе- ния, хотя и не так устойчивы. Воз-

можно, зоны очагов сотрясений больше по размеру длины сейсмической волны (при собственно лунотрясении — меньше). Подобные частые толчки зарегистрированы в вулканических районах Земли, а также в зонах срединных хребтов.

Интересные закономерности дало сейсмическое исследование метеоритов. Частота их падений на поверхность Луны оказалась в несколько раз ниже, чем это теоретически оценивалось ранее. Любая сейсмическая станция на Луне в состоянии отметить падение метеорита с массой 7—10 кг. Средняя скорость столкновения метеоритов с Луной 15—20 км/сек. Метеориты весом менее 1 кг падают на Луну приблизительно 4 раза в земные сутки, с массой более 1 кг — 1 раз в месяц (на площади радиусом 200 км), а метеориты, производящие удары, соизмеримые с ударами лунных отсеков космических кораблей, — всего 3 раза в год. Падения крупных метеоритов позволяют накопить и уточнить сейсмические данные о строении Луны.

Сейсмическая энергия Луны, выделяемая за год, в миллиард раз меньше земной. Но некогда она пережила «бурную молодость», ее недра были горячи и активны. Селена немного рассказала о своей истории, вернее, только намекнула, но повествование младшей космической сестры Земли продолжается — сеть чувствительных станций передает бесценную информацию.

Рисунки Т. ЯНУШЕВИЧ

ПЕРВЫЙ ЭКИПАЖ «СКАЙЛЭБА»

(Продолжение. Начало на стр. 33)

Электроэнергию станция получает от двух комплектов панелей солнечных батарей, а в период захода в тень Земли — от аккумуляторных батарей, заряженных солнечными. Каждый комплект панелей солнечных батарей имеет площадь 110 м² и обеспечивает среднюю мощность 3,7—3,8 квт.

Станция рассчитана на трех человек. Запускалась она без экипажа. Космонавтов доставляли модифицированные корабли «Аполлон» (без лунного отсека), которые пристыковывались к «Скайлэбу». На «Аполлонах» же космонавты возвращались на Землю после выполнения программы работ. Первый запуск «Скайлэба» был запланирован на 14 мая 1973 года и «Аполлона» — на 15 мая. Экипаж тогда состоял целиком из военных моряков: капитана первого ранга Чарльза Конрада (командир), капитана третьего ранга Пола Вейца (второй пилот) и капитан-лейтенанта Джозефа Кервина (врач-космонавт). Конрад уже три раза летал в космос (на спутниках «Джеминей-5 и -11», на космическом корабле «Аполлон-12») и один раз высаживался на Луну. Вейц и Кервин отпраздновали в космос впервые.

Станция «Скайлэб» была запущена двухступенчатой ракетой-носителем «Сатурн-5» 14 мая точно в расчетное время, но нормально полет протекал только 63 секунды. Правда, это выяснилось не сразу. Первые тревожные симптомы были зарегистрированы через 50 минут полета, когда станция уже вышла на орбиту (высота орбиты 435 км, наклонение 50°). С борта не поступил сигнал о раскрытии одного комплекта панелей солнечных батарей. Земля многократно посылала команды на развертывание панелей, но напрасно. Станция лишилась половины ресурсов электроэнергии. Через несколько

часов на «Скайлэбе» стала угрожающе подниматься температура. Внутри станции с солнечной стороны она превысила 50°, на внешней стенке, освещенной Солнцем, достигла 150°.

Как выяснилось позже, причина неполадок была одна: через 63 секунды полета, в момент максимального скоростного напора, сорвало метеорный экран. Полностью разрушилась одна из двух панелей солнечных батарей, а вторую заклинило осколком экрана и она не смогла раскрыться полностью. Метеорный экран должен отражать солнечные лучи, поэтому его отсутствие привело к перегреву станции.

Как спасти «Скайлэб»? Ведь в него вложены сотни миллионов долларов, а запланированные эксперименты имеют решающее значение для всей последующей космической программы США?

Прежде всего следовало предотвратить дальнейшее повышение температуры, иначе могла упасть ниже критической прочность корпуса и выйти из строя чувствительная электронная аппаратура. Уже при 50° становятся непригодными многие находившиеся на борту медикаменты и некоторые пищевые продукты, покрывается вуалью фотографическая пленка, а пенополиуретановая облицовка, которой покрыты стенки станции, способна выделять токсичные газы. В качестве первоочередной меры станцию немного «отвернули» от Солнца. Теперь ее продольная ось составляла угол 55° (а не 90°) с направлением на Солнце. Правда, единственный функционирующий комплект панелей солнечных батарей стал меньше освещаться Солнцем и уровень электрической мощности снизился. Похолодало в отсеках станции, не освещенных Солнцем. Если температура упадет ниже нуля, замерзнет вода на борту и разорвет баки и трубопроводы. Станцию снова повернули к Солнцу и снова придали ей прежнее положение. Так баландировали на «тепловом канате» вплоть до прибытия космонавтов. На изменение ориентации затратили бо-

лее половины запаса сжатого азота, предназначенного для микродвигателей, а это вынужденное расточительство могло сказаться в дальнейшем. Установить, появились ли в атмосфере станции токсичные газы, было невозможно: на борту не имелось соответствующих детекторов. На всякий случай до прибытия космонавтов воздух из станции периодически стравливали за борт, а ее наполняли заново кислородом и азотом, благо запас их вполне достаточный.

Однако все эти меры только предотвратили дальнейшее ухудшение обстановки, но не восстановили нормальный тепловой режим и не компенсировали потерянную электрическую мощность. Требовался ремонт станции, первый ремонт в космосе. Это могли сделать только космонавты. Они везли с собой на корабле «Аполлон» три теплозащитных экрана различной конструкции, один из которых нужно было установить снаружи корпуса станции, с солнечной стороны, вместо разрушившегося метеорного экрана. Космонавты располагали инструментами, которыми намеревались открыть неразвернутую панель. Чтобы разместить новый запас медикаментов и пленки, респираторы и детекторы токсичных газов, с корабля «Аполлон» пришлось снять некоторые приборы и устройства, предназначенные для проведения экспериментов на станции. Кроме того, увеличили запас жидкого водорода и жидкого кислорода для энергетической установки корабля (водородо-кислородные топливные элементы), которая должна использоваться для электропитания оборудования станции, если несчастную панель солнечных батарей не удастся развернуть.

Корабль «Аполлон» стартовал 25 мая с десятисуточным опозданием. Двухступенчатая ракета-носитель «Сатурн-1В» вывела его на низкую орбиту (перигей 150 км). Спустя 7,5 часов после шести коррекций орбиты корабль сблизился со станцией и примерно в течение часа совершал



облет. На Землю по телевидению транслировалось изображение станции. Вскоре последовала стыковка корабля со станцией. Потом руководители полета приказали попытаться развернуть панель солнечных батарей. Корабль отстыковался, приблизился к панели, но выполнить приказ не удалось. Поступила команда снова пристыковаться к станции. Пять раз космонавты безуспешно пробовали осуществить стыковку.

 *Первый командир «Скайлаба» Ч. Конрад*

 *Второй пилот П. Вейц*

 *Врач-космонавт Д. Кервин*

Выяснилось, что в электрической системе стыковочного механизма возникло короткое замыкание, потому он и не срабатывал. Космонавты разгерметизировали кабину корабля «Аполлон», открыли люк в туннель-лаз, где находится этот механизм, и один из космонавтов переполз в туннель и ликвидировал короткое замыкание. Еще несколько минут, и стыковка осуществлена. На следующий день усталым космонавтам предстояло перейти на станцию и установить теплозащитный экран. Из трех экранов выбрали тот, который выносился через имеющийся в лабораторном отсеке «солнечный» шлюз.

26 мая космонавты без скафандров, но в респираторах вошли в помещение станции. Взятые с Земли детекторы не уловили каких-либо токсичных газов. Температура в различных отсеках станции была от 10 до 51°. Работа шла в самом жарком отсеке. Периодически космонавты удалялись в более холодные отсеки. Наконец экран установили, но развернулся он не полностью — площадь его оказалась на 10% меньше расчетной. Но уже к 29 мая температура на станции понизилась до 26—31°. Позже она снизилась до 23°.

29 мая космонавты начали программу научных исследований, которую несколько сократили из-за недостатка электроэнергии. Однако исследования природных ресурсов, медицинские и астрономические эксперименты предполагали выполнить почти в полном объеме. Правда, уже на следующий день вышли из строя две аккумуляторные батареи, что ставило выполнение научной программы под угрозу. Проблема электропитания могла быть решена, если бы космонавтам удалось установить в рабочее положение неразвернутую панель, которую, как выяснилось, заклинило осколком метеоритного экрана. Началась тщательная подготовка на борту и на Земле к выходу в открытый космос. Требовалось второй раз попытаться удалить осколок, заклинивший панель.

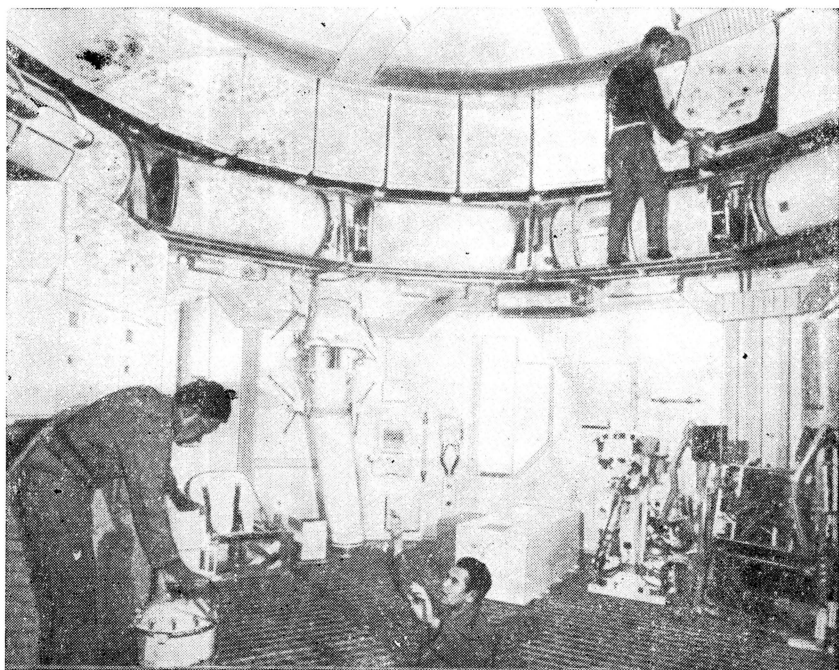
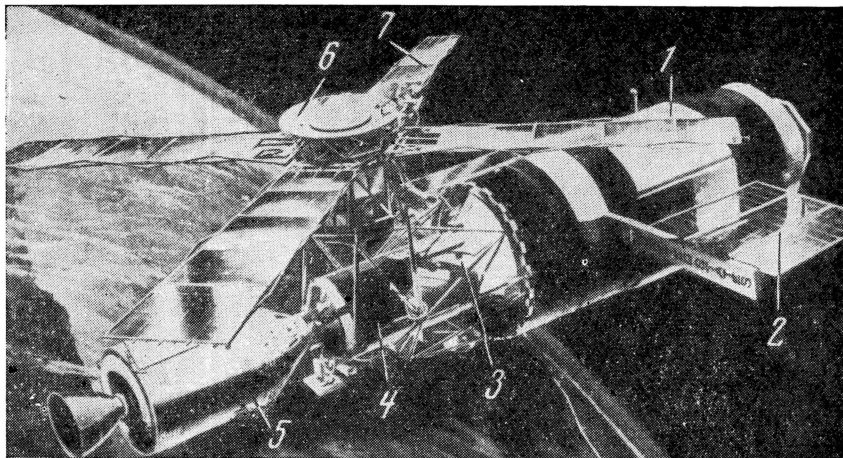
Главная трудность состояла в том,

чтобы подобраться к нераскрывшейся панели и закрепиться у нее, поскольку на этой части корпуса станции нет ни опор для ног, ни захватов для рук. Решили установить искусственный поручень, собранный из пяти стержней длиной по 1,5 м. Космонавтам на борт по телетайпу передали «километры» инструкций по проведению выхода, который предварительно многократно отработывался на Земле. Накануне выхода космонавты в течение нескольких часов репетировали в помещении станции предстоящие им операции. Из нескольких имевшихся инструментов выбрали ножницы.

Выход состоялся 7 июня. Основные операции производил Конрад Кервин, находившийся снаружи у выходного люка, помогал ему. Вейц оставался внутри станции. Дальний конец импровизированного поручня удалось накинуть на выступ близ панели. Конрад, держась за поручень, перешел к ней и ножницами срезал осколок, который, как выяснилось, представлял собой короткую (длина 2,5 см) полоску с болтом. Болт и был виновником всех неудач.

Станция получила 3 квт дополнительной мощности (до этого было всего 3,8 квт). Космонавты смогли разогреть пищу и принять горячий душ. Появилась возможность проводить научные исследования по полной программе. С помощью установленных на станции специальных приборов удалось многократно просмотреть территорию США, а также некоторых стран Центральной и Южной Америки для исследования природных ресурсов. Изучались геологические формации с точки зрения возможных полезных ископаемых, природные условия и воздействие на них деятельности человека, состояние посевов, застройки больших городов, загрязнение озер и океана. Проводились даже наблюдения по просьбе археологов.

Каждый день до 18 июня велись наблюдения Солнца с помощью комплекта астрономических приборов. 15 июня космонавты примерно в



Станция «Скайлэб» с пристыкованным к ней кораблем «Аполлон» на орбите. 1 — блок станции, 2 — панели солнечных батарей, 3 — шлюзовая камера, 4 — причальная конструкция, 5 — корабль «Аполлон», 6 — астрономические приборы, 7 — панели солнечных батарей

Лабораторный отсек

течение 20 минут наблюдали солнечную вспышку, причем засекли ее в момент развития. Как сказал один из научных руководителей программы, от бортовых телескопов станции было получено больше информации, чем могли бы дать наземные телескопы за 84 полных солнечных затмения. Осуществлялись и технологические эксперименты: сварка и плавка металлов в условиях невесомости и вакуума электронно-лучевой пушкой.



За трое суток до возвращения на Землю Конрад и Вейц совершили еще один выход в открытый космос. Но это был уже не аварийный, а запланированный выход для замены кассет с пленкой в комплекте астрономических приборов. Кассеты с отснятой пленкой доставлены на Землю. Воспользовавшись пребыванием в открытом космосе, Конрад «починил» одну из вышедших из строя аккумуляторных батарей, ударив по регулятору зарядного устройства молотком. Удивительно, но батарея заработала.

К концу полета начало сказываться влияние длительного пребывания в состоянии невесомости. Окружность икр у космонавтов уменьшилась примерно на 2,5 см. В условиях невесомости «обленилось» сердце.

22 июня экипаж перешел в корабль «Аполлон», который отделился от станции и после двух коррекций орбиты и торможения приводнился в Тихом океане, в 1100 км от западного побережья США. Приводнившийся отсек с находящимися в нем космонавтами осторожно подняли краном на палубу авианосца. Еще 5 минут, и космонавты самостоятельно вышли на палубу.

У Конрада полная реадаптация к условиям земного тяготения произошла уже через 2 часа после приводнения, у Вейца — через 7—8 часов, у Кервина — только на вто-

рые сутки. У всех трех космонавтов наблюдались головокружение, иногда даже рвота.

24 июня космонавтов доставили на аэродром близ Сан-Клементе. Здесь в калифорнийской резиденции Президент США Ричард Никсон представил экипаж находившемуся в США с официальным визитом Генеральному секретарю ЦК КПСС Л. И. Брежневу. Космонавты подарили Р. Никсону и Л. И. Брежневу памятные таблички. Л. И. Брежневу был также вручен нож, которым пользовались космонавты в полете, с просьбой, чтобы он передал его советским космонавтам. На ноже выгравировано: «Мы с Вами, как и Вы с нами, во всех космических полетах».

Полет первого экипажа станции «Скайлэб», безусловно, является значительным достижением мировой космонавтики. Станция, которую чуть не «списали», была отремонтирована космонавтами и оставлена следующему экипажу почти полностью в рабочем состоянии. Несмотря на нехватку электроэнергии в первые две недели пребывания космонавтов на станции, научная программа выполнена на 90%, в частности, получено более 20 000 снимков Земли и более 30 000 снимков Солнца. Весьма обнадеживающими являются хорошее состояние космонавтов после четырехнедельного космического полета и сравнительно безболезненная реадаптация к земному тяготению. Специалисты-медики заключили, что допустимы космические полеты месячной и, очевидно, большей длительности. А ведь от этого вывода зависит будущее космонавтики.

28 июля на станцию «Скайлэб» был доставлен второй экипаж в составе Алана Бина (командир), Джека Лусмы и Оуэна Гарриота. Расчетная продолжительность пребывания космонавтов на станции 59 суток (до 26 сентября). Об этом полете будет сообщено в следующем номере журнала.



ВРАЩЕНИЕ ПЛУТОНА

Так как отдаленная планета Плутон даже в очень большие телескопы представляется практически точечным объектом, ее вращение вокруг оси можно обнаружить только по незначительным ритмическим изменениям блеска, имеющим период 6,4 суток.

Американский астроном Л. Андерсон проводил в 1972 году фотометрические наблюдения Плутона. Он получил неожиданно высокое значение амплитуды колебаний блеска планеты. Если в 50-х годах исследователи находили, что блеск Плутона изменяется на 0,10—0,11 звездной величины, в 1964 году — примерно на 0,15 звездной величины, то, согласно Андерсону, амплитуда составляет 0,20 звездной величины!

Андерсон объясняет это увеличение тем, что ось вращения Плутона лежит почти в плоскости его орбиты (как у Урана). Предположим, что около 1930 года один из полюсов Плутона был обращен приблизительно в сторону Земли. Тогда наклон оси к нашему лучу зрения должен возрастать. В результате должны возрастать и колебания видимого блеска, по мере того как планета поворачивает к нам различные области своей поверхности, сменяющие друг друга в ее осевом вращении.

«Sky and Telescope», 45, 5, 1973.

Помещение, отведенное для досуга, приготовления и приема пищи

Затмения пульсирующих звезд

Заглавие статьи может вызвать недоумение: ведь пульсирующие и затменные звезды меняют свой блеск по совершенно различным причинам. Поясним сразу, что речь пойдет о тех пульсирующих звездах, которые находятся в составе затменно-двойных систем. Чем же интересны подобные комбинации? Дело в том, что именно двойные звезды позволяют **наиболее достоверно** определять массы — основной параметр звезд.

С необходимостью знать массу звезды мы сталкиваемся практически при решении любой проблемы астрономии, будь то проблема устойчивости звездных агрегатов или изучение динамики звезд в Галактике, будь то расчет звездной эволюции, моделирование процесса пульсации звезды или проверка наших представлений о механизме звездообразования.

Как же определяется масса компонентов в двойной системе? Третий закон Кеплера устанавливает связь между параметрами орбиты системы и массами звезд-компонентов. Если система визуально-двойная и близка к Солнцу, то ее орбиту можно получить непосредственно из наблюдений взаимного положения компонентов. После того как удастся достаточно точно измерить расстояние до двойной системы, определение индивидуальных масс не составляет труда. Несравненно сложнее вычислить массу звезд в далеких двойных системах, двойственность которых «видна» либо по спектру, либо по затмениям одного компонента другим. Если в спектре такой системы наблюдаются одновременно

В затменно-двойных системах обнаружены пульсирующие переменные звезды. Появилась возможность непосредственной оценки массы звезды типа RR Лиры и δ Щита.

линии обоих компонентов, то, измерив период и амплитуду смещения спектральных линий, можно оценить массы компонентов, если нам известен угол наклона плоскости орбиты к лучу зрения наблюдателя. Определение этого угла возможно лишь в затменно-двойных системах (угол должен быть близок к нулю, иначе компоненты не затмеваются). Поэтому не удивителен огромный интерес к изучению затменных звезд.

До недавнего времени не было известно ни одной затменной системы, где компонент — пульсирующая переменная звезда. Особенно привлекали астрономов поиски в затменно-двойных системах звезд типа RR Лиры или цефеид, названных «маяками Вселенной». Ведь именно на этих звездах в основном «держатся» расстояния как в Галактике, так и за ее пределами. Звезды типа RR Лиры и цефеиды исследуются не один десяток лет. Зная достаточно хорошо многие параметры этих звезд, астрономы, к сожалению, до сих пор не имели возможности непосредственно, без каких-либо предположений определить самый главный из них — массу цефеиды или звезды типа RR Лиры.

И вот в 1970 году известный советский астроном П. Н. Холопов впервые обнаружил пульсирующую переменную звезду типа RR Лиры в

затменно-двойной системе. Эта двойная система с периодом чуть более двух суток принадлежит карликовой сферической галактике в созвездии Малой Медведицы. П. Н. Холопов обратил внимание на необычно большое рассеяние точек на кривой изменения блеска двойной системы вне моментов минимумов, то есть вне моментов затмений одной звезды другой. Это свидетельствует о физической переменности блеска одного или обоих компонентов системы. Период физической переменности получился равным почти точно полусуткам. Тщательный анализ показал, что, по всей видимости, это — реальный период изменений блеска одного из компонентов, другой компонент — звезда постоянного блеска.

Средний блеск переменного компонента составляет 20,25 звездной величины, как и у других звезд типа RR Лиры в этой карликовой галактике. Период и форма кривой изменения блеска подтверждают принадлежность к классу короткопериодических цефеид. Правда, в нашей Галактике звезды с такой кривой блеска, как у звезды П. Н. Холопова, обычно имеют более короткие периоды, однако и «у нас» есть немного подобных звезд. Итак, первая «затменная звезда типа RR Лиры» найдена, но, увы, не в нашей Галактике.

Пока нет спектроскопических наблюдений этой двойной звезды, без которых невозможно определить массы ее компонентов. Звезда слишком слаба, и ее спектральные исследования — исключительно сложная задача для современной астро-

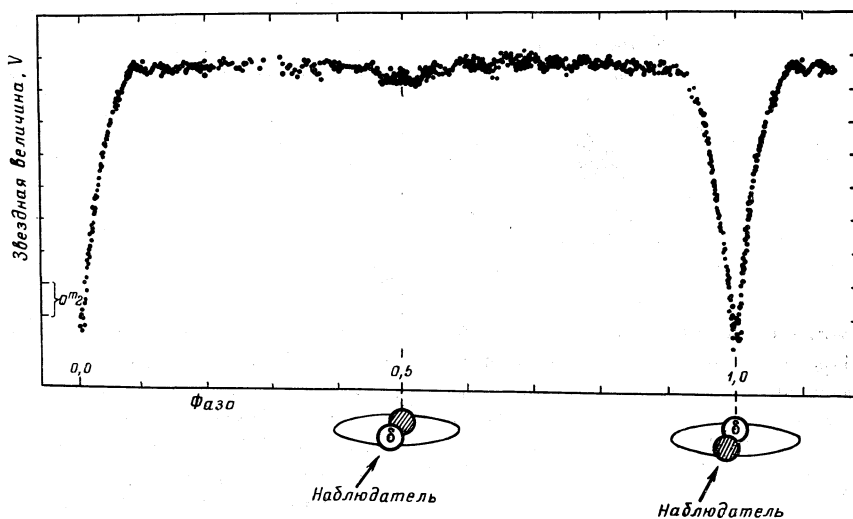
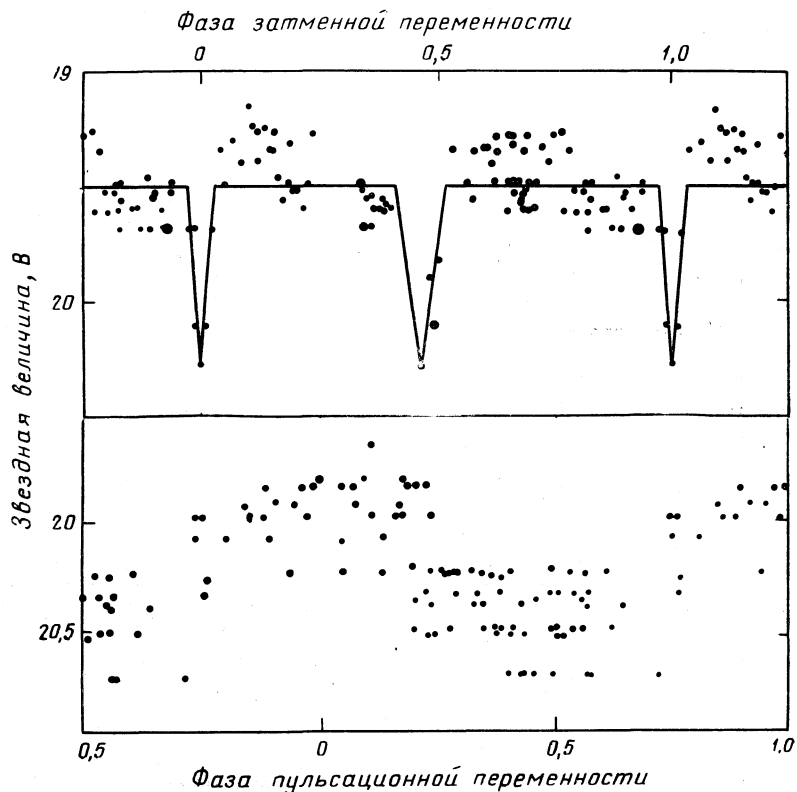
номии. П. Н. Холопов попытался приблизительно оценить массу из фотометрических наблюдений. Он считает, что масса звезды типа RR Лиры может оказаться существенно больше 0,5 солнечной — величины, принимаемой в настоящее время.

Вскоре после открытия П. Н. Холопова польский астроном В. Висневский опубликовал детальное исследование RW Овна, давно известной и «не вызывающей подозрений» переменной звезды типа RR Лиры 12-й звездной величины. Это — типичный представитель подгруппы звезд с синусоидальными кривыми блеска, амплитуды которых, как правило, составляют около половины звездной величины, а периоды от 0,3 до 0,4 суток.

В. Висневский анализировал фотоэлектрические измерения блеска RW Овна. Большое количество высокоточных наблюдений позволило ему обнаружить то, что до сих пор

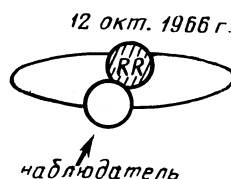
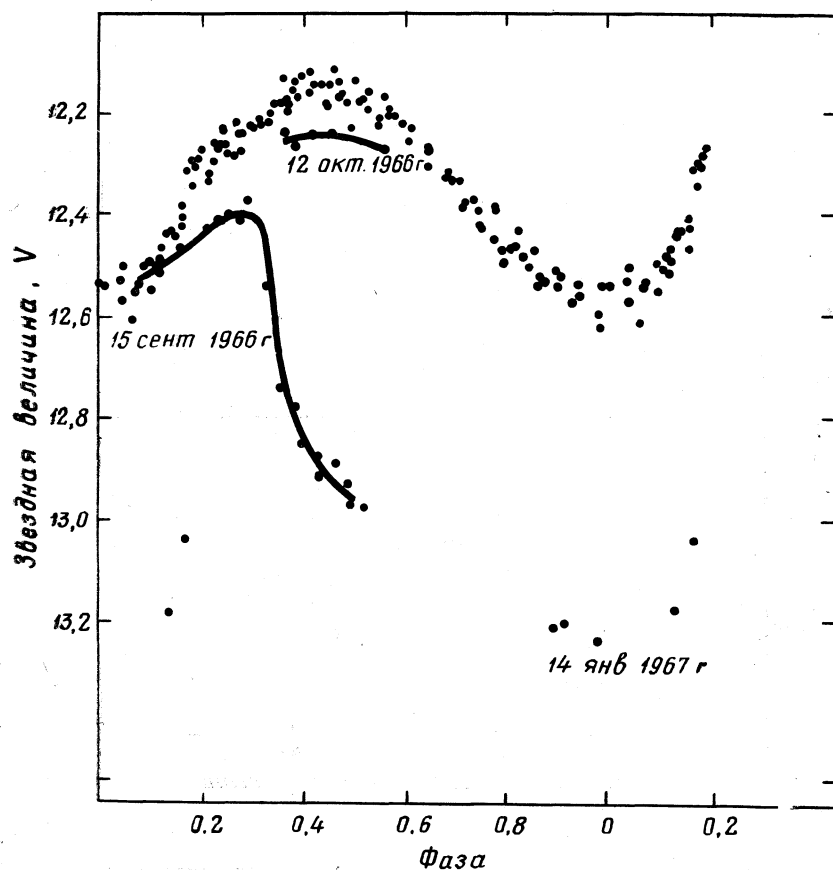
Кривая блеска затменно-двойной звезды № 80 в карликовой галактике Малой Медведицы. Один из компонентов двойной звезды — пульсирующая переменная типа RR Лиры. Ее кривая блеска показана внизу. Графики построены П. Н. Холоповым

Средняя кривая блеска АВ Кассиопеи, построенная П. Темпести. Показано расположение звезд в момент затмений, слабая звезда затмивается. Короткопериодические колебания блеска пропадают только в главном минимуме, когда слабая звезда затмевает яркий компонент двойной системы



ускользало от других исследователей. За 16 ночей из 19, в течение которых фотоэлектрическое устройство регистрировало изменения бле-

ска RW Овна, не произошло ничего необычного. Зато на протяжении остальных трех ночей звезда демонстрировала неожиданные фото-



метрические эффекты. 15 сентября 1966 года звезда вдруг «пошла» в глубокий минимум блеска, по крайней мере на 0,5 звездной величины

Изменение блеска RW Овна, по наблюдениям В. Висневского. Необычные для звезды типа RR Лиры явления наблюдались 15 сентября и 12 октября 1966 года, а также 14 января 1967 года. Показано положение звезд в эти ночи. Слабая звезда двойной системы заштрихована

слабее обычного минимума. Поведение RW Овна в эту ночь настолько не соответствовало присущему ей характеру изменения блеска, что можно было бы даже усомниться, та ли звезда наблюдалась. Аналогичная картина, однако, повторилась и 14 января 1967 года, а 12 октября 1966 года RW Овна была **систематически** слабее обычного максимума блеска на 0,1 звездной величины. В чем же причина подобных аномалий в поведении, казалось бы, доста-

точно хорошо изученной звезды типа RR Лиры?

В. Висневский предположил, что RW Овна не одиночная пульсирующая звезда, а система двух звезд, обращающихся около общего центра масс по орбите, плоскость которой очень мало наклонена к лучу зрения земного наблюдателя. Благодаря такой ориентации мы должны видеть затмения компонентов. Для проверки гипотезы были искусственно «сняты» с наблюдаемой кривой изменения блеска пульсационные колебания переменного компонента системы. Получилась, как и предполагал В. Висневский, характерная для затменно-двойных систем кривая изменения блеска, период которой немного превосходит трое суток.

Все необычные эффекты RW Овна зарегистрированы в моменты затмений одного компонента другим. Детализируя свою гипотезу, В. Висневский пришел к выводу, что пульсирующий компонент имеет меньшую светимость, чем постоянный. Значит, 15 сентября 1966 года и 14 января 1967 года, когда наблюдалось сильное ослабление блеска, пульсирующая звезда заслоняла от нас яркий компонент, а 12 октября 1966 года, наоборот, яркая звезда проходила перед звездой типа RR Лиры. RW Овна открыла список звезд типа RR Лиры, входящих в состав затменно-двойных систем нашей Галактики. Звезда эта яркая, и можно надеяться, что в самое ближайшее время ее масса станет известной.

2 декабря 1971 года появилась статья итальянского астронома П. Темпести. Он исследовал изме-



РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ СВЕРХНОВОЙ ЗВЕЗДЫ

Американские, а затем голландские радиоастрономы обнаружили радиоизлучение от Сверхновой звезды. Она вспыхнула в галактике М 101, расположенной в созвездии Большой Медведицы. Впервые наблюдалось радиоизлучение Сверхновой почти сразу после ее вспышки.

Обнаружить это чрезвычайно слабое радиоизлучение оказалось очень трудно из-за досадного «соседства» галактики М 101 с зоной ионизованного водорода Н II. Зона Н II, принадлежащая нашей Галактике, также излучает в радиодиапазоне. И лишь когда голландские радиоастрономы установили непостоянство потока радиоизлучения, сомнения в природе источника отпали.

С декабря 1970 по декабрь 1971 года поток радиоизлучения на волне 21 см возрос с 5,4 до 11,3 единиц (за единицу принят поток 10^{-29} Вт/м². гц). Поскольку радиоизлучение области Н II постоянно, то поток от нее, по крайней мере, меньше 5,4 единиц.

Измерения потока на разных длинах волн позволили определить спектр радиоизлучения Сверхновой. И спектр, и мощность радиоизлучения указывают на нетепловую природу источника. Излучение Сверхновой не может быть порождено горячим газом таким, как в области ионизованного водорода Н II.

Напомним, что в нашей Галактике остатки вспышек Сверхновых звезд — источники мощного радиоизлучения. В остатках Сверхновых генерируются электроны большой энергии (релятивистские). На какой стадии они возникают, до сих пор неизвестно. Внести ясность в эту проблему помогут наблюдения молодых остатков Сверхновых звезд.

«Nature. Physics Science», 243, 125, 1973.

нения блеска опять-таки, казалось бы, ничем не примечательной переменной АВ Кассиопеи. Эта звезда, согласно последнему изданию «Общего каталога переменных звезд», затменно-двойная типа Алголя с периодом 1,37 суток и амплитудой изменения блеска 10,3—12,2 в синих лучах.

По фотометрическим наблюдениям, выполненным в 1967—1971 годах, П. Темпести обнаружил у АВ Кассиопеи вне моментов минимума, когда мы видим оба компонента, небольшие периодические колебания. Их период составляет 0,058 суток, а амплитуда всего 0,05 звездной величины. Колебания не прекращались и во вторичном минимуме, когда яркая звезда загораживается от наблюдателя компонент меньшей светимости. Лишь в главном минимуме (слабая звезда впереди) колебания блеска исчезли. Следовательно, источником колебаний служит более яркий компонент системы АВ Кассиопеи. Период, амплитуда, спектр (АЗ) и абсолютная величина (+2,м2) свидетельствуют, что яркая звезда затменно-двойной системы АВ Кассиопеи относится к пульсирующим переменным типа δ Щита*.

Итак, нам известны уже три пульсирующие переменные в затменно-двойных системах. Какой окажется масса одного из «маяков Вселенной» — звезды типа RR Лыры?!

* М. С. Фролов. Что такое звезда типа δ Щита? «Земля и Вселенная», № 4, 1970 г.

НОВЫЕ КНИГИ

«ВЕЛИКИЕ ПАМЯТНИКИ ПРИРОДЫ»

Под таким названием в издательстве «Мир» в 1973 году вышла книга профессора Кельнского университета М. Шварцбаха. Это образный и увлекательный рассказ о знаменитых горных вершинах и долинах, известных пещерах, внутренних морях, озерах, гейзерах, о гигантских разломах земной коры, о горообразовании, о вымерших диких животных и удивительных растениях. Автор — геолог, поэтому неудивительно, что рассказ ведется в основном о геологических объектах. Но Шварцбах не только рисует картину творений природы, он как бы показывает их формирование, взаимодействие различных процессов на поверхности Земли и в ее глубинах, природные условия далекого прошлого. Основным принципом, которым руководствовался автор при отборе материала, был, наверное, принцип личного знакомства с объектами. Все описанные достопримечательности автор видел и изучал сам. Вероятно, поэтому в книге нет сведений о природных памятниках Советского Союза, Южной Азии или Восточной Африки. Великолепно иллюстрированная книга призывает: «Берегите природу, сохраняйте уникальные природные образования, не нарушайте гармонии ландшафта!»



В этом году отмечается 1000-летний юбилей великого среднеазиатского ученого Абу Райхана Бируни. Тысячелетие не отдалило, а приблизило, помогло глубже понять труды гения средневековья. В год юбилея в нашей стране был создан Всесоюзный организационный комитет по проведению юбилейных мероприятий, посвященных 1000-летию со дня рождения Бируни. Председатель оргкомитета — вице-президент Академии наук СССР академик П. Н. Федосеев.

4 сентября исполнилось 1000 лет со дня рождения величайшего ученого средневековья Абу Райхана Бируни. Он был уроженцем города Кят — столицы одного из древнейших государств Средней Азии — Хорезма, территория которого ныне входит в состав Каракалпакской АССР, Хорезмской области Узбекистана и Ташаузской области Туркмении. Потомки жителей средневекового Хорезма — узбеки, каракалпаки и туркмены считают Бируни своим предком и законно гордятся его великими трудами. Чтут память Бируни таджики и иранцы, на языке которых он написал часть своих сочинений. Им гордятся и жители Афганистана, Пакистана и Ин-

Вице-президент Академии наук СССР
академик П. Н. ФЕДОСЕЕВ

Бируни — великий ученый и гуманист

дии, в чью культуру Бируни внес значительный вклад, и жители арабских стран, на языке которых, бывшем международным языком науки средневекового Востока, написано большинство сочинений Бируни.

По основной своей научной специальности Бируни был астрономом. Астрономии посвящен главный труд Бируни «Канон Мас'уда», к астрономии относится большая часть его «Книги вразумления начаткам искусства звездочетства» («Науки звезд»), а также значительные разделы «Памятников, оставшихся от минувших поколений» («Хронология») и «Книги, содержащей разъяснение принадлежащих индийцам учений, приемлемых разумом или отвергаемых» («Индия»).

Астрономические труды Бируни были основаны на многочисленных тщательнейших наблюдениях. Большинство из них он выполнил на изобретенных им самим инструментах. Описание астрономических инструментов можно встретить, например, в трактате «Исчерпание методов, возможных при конструировании астролябии», а подробное описание наблюдений — в его книге «Определение границ мест для уточнения расстояний между населенными пунктами» («Геодезия»).

Благодаря своим наблюдениям Бируни уточнил значение угла наклона эклиптики к небесному экватору; он изучал движение Солнца и, в частности, опроверг мнение Птолемея о неподвижности апогея солнечной орбиты, установив скорость его движения; нашел новое «неравенство» движения Луны, которое из-за малости не заметил Птолемей; рассматривал движение планет и определил координаты неподвижных звезд. Изложение

всего достигнутого астрономами до Бируни и того, что внес в астрономию он сам, содержится в «Каноне Мас'уда» — подлинной энциклопедии астрономических наук.

Бируни, как и его современника египетского физика Ибн ал-Хайсама — автора знаменитой «Книги оптики», можно считать основоположником экспериментального метода в науке на средневековом Востоке. Оба они внесли значительные исправления в классические труды Птолемея — в его астрономический труд «Альмагест» и его «Оптику», оба продолжили традиции знаменитого иранского врача и алхимика Абу Бакра Рази, работавшего в области астрономии, оптики и математики. До наших дней сохранилась философская переписка великих ученых Ибн Сины и Бируни, в которой Бируни отстаивал более материалистические идеи Рази, а Ибн Сина — догмы аристотелевой философии. В переписке с Ибн Синой Бируни высказал ряд интереснейших идей в теории тяготения, оптике и других разделах физики. Особенно важна мысль Бируни о существовании «других миров», информацию о которых нельзя получить с помощью обычных чувств.

Другой особенностью астрономических трудов Бируни было их строгое математическое обоснование. Особенно важным для истории математики и механики стало изучение им видимого движения Солнца вблизи апогея и перигея — один из первых слу-

Абу Райхам Мухаммад ибн Ахмад Бируни (4.IX. 973—11.XII. 1048)





чаев изучения неравномерного движения. Будучи выдающимся математиком своего времени, Бируни посвятил ей значительные разделы «Канона Мас'уда», «Науки звезд», «Хронологии», «Индии», трактата об астролябии. Ученому принадлежат оригинальные методы решения геометрических задач на построение, доказательства геометрических и тригонометрических теорем, численное решение одного вида кубических уравнений, извлечение корней, весьма точное вычисление числа π и тригонометрических функций. Но самым замечательным в математическом творчестве Бируни было выдвижение в «Каноне Мас'уда» новых идей, далеко опередивших свое время, — идеи расширения понятия числа до положительного действительного числа и идеи общей функциональной зависимости, заданной таблицей (Бируни называл такие функции «всеми таблицами»).

В «Геодезии» и «Каноне Мас'уда» Бируни решил большое число задач высшей геодезии и математической картографии. В «Каноне Мас'уда» приведены географические таблицы с координатами более 600 городов и других географических пунктов. В «Науке звезд» Бируни поместил составленную им географическую карту мира, в «Геодезии» описал построенный им земной глобус, в «Хронологии» и специальном трактате — предложенную им проекцию сферы на плоскость, ныне называемую глобулярной.

В «Геодезии» Бируни развил также важные для геологии мысли об изменениях и перемещении материков и морей, опроверг мнение древних уче-

ных о соединении южных частей материков Африки и Азии и привел соображения в пользу существования Берингова пролива и американского материка.

В книге «Об отношениях по объему между металлами и драгоценными камнями» Бируни определил с высокой точностью удельные веса многих металлов, минералов и жидкостей. В «Собрании сведений для познания драгоценностей» («Минералогия») Бируни описал большое количество минералов и металлов, привел богатые сведения об их добытии и применении. «Фармакогнозия», оставшаяся незаконченной, посвящена лекарственным веществам (главным образом растительного происхождения) и их использованию.

«Хронология» Бируни содержит сведения по истории и этнографии многих древних народов и народов средневекового Востока. Специально истории, географии и этнографии Индии посвящена книга «Индия». В своих гуманитарных исследованиях Бируни дал описание обычаев, верований, философских учений, математических и астрономических знаний, а в некоторых случаях и принципов стихосложения. Будучи одним из основоположников сравнительно-исторического метода, он всюду, где мог, сравнивал особенности и достижения различных народов.

Являясь сыном своего века, Бируни отдавал дань религии, однако, представление Бируни о боге было весьма далеким от представлений ортодоксального ислама. Для Бируни бог был только первопричиной, творцом мира. Бируни не признавал характерного для религии ислама учения о по-

вседневном вмешательстве Аллаха в природу и жизнь людей. Поэтому ученый постоянно разграничивал науку и религию. Следует подчеркнуть, что, пытаясь объяснить все изучаемые им явления только естественными причинами, Бируни выступал как рационалист. В «Индии» Бируни рассказывает, как он разъяснял индийским ученым причинную связь и демонстрировал логические доказательства.

В мировоззрении Бируни были весьма сильны элементы материализма и диалектики. Если Ибн Сина по своим философским взглядам был в значительной степени продолжателем учения Аристотеля, то Бируни во многом был ближе к учению античного материалиста Демокрита.

Особенно необходимо отметить гуманизм Бируни. В эпоху жестоких феодальных войн, в одной из которых потерял независимость его родной Хорезм, Бируни оставался последовательным поборником уважения ко всем народам и к созданной ими культуре. В эпоху завоеваний, ведавшихся под знаменем борьбы с «неверными», Бируни выступил с подробным изложением обычаев, верований и культурных достижений этих «неверных». В условиях господства феодального строя Бируни провозгласил, что «цена каждому человеку в том, что он превосходно делает свое дело» — не древностью рода и не заслугами предков ценен человек, а своим трудом.

В дни 1000-летия великого среднеазиатского ученого все народы Советского Союза, все прогрессивное человечество отдает дань уважения замечательному деятелю науки, мыслителю и гуманисту.

«Я сделал то, что надлежит сделать всякому в своей отрасли — с признательностью воспринять старания своих предшественников и без стеснения исправить их погрешности»

Абу Райхан Бируни «Канон Мас'уда»

Кандидат технических наук
К. Н. НАРХОДЖАЕВ

Жизнь Бируни

Эпохой Бируни называют историки-востоковеды первую половину XI века. Тысяча лет отделяет нас от того времени. Однако наследие величайшего среднеазиатского ученого-энциклопедиста живет и будет жить еще тысячелетия.

Абу Райхан Мухаммад ибн Ахмад Бируни родился 4 сентября 973 года в городе Кят (сейчас Бируни). Кем были его родители, неизвестно. Этого не знал, по-видимому, и сам Бируни. В одном из своих стихотворений он пишет:

Клянусь Аллахом, не знаю я по правде
своего родословия.
Ведь я не знаю по-настоящему своего
деда, да
и как знать мне деда, раз я не знаю
отца!

Образование Бируни получил на родине. Проявив с детства большие способности, Бируни обратил на себя внимание родственника хорезмшаха, выдающегося математика и астронома Абу Насра Мансура ибн 'Али ибн 'Ирака. Он был первым учителем и воспитателем Бируни:

Семья 'Ираков вскормила меня своим
молоком,
а их Мансур взялся вырастить меня...

Уже в молодости Бируни достиг значительных успехов в науке. В 990 году, когда ему было шестнадцать лет, он измерил полуденную высоту Солнца в Кяте, а в возрасте двадцати одного года с исключительной точностью определил величину наклона плоскости эклиптики к небесному экватору.

Бируни всю жизнь страстно стремился к знаниям. Об этом он вспоминает в предисловии к книге «Фарма-

когнозия», написанной в последние годы жизни (1041—1048): «По своей натуре я с молодости был наделен чрезмерной жадностью к приобретению знания соответственно [своему] возрасту и обстоятельствам. В качестве свидетельства этому достаточно [следующее]: в нашей земле поселился [тогда] один румиец *, я приносил ему зерна, семена, плоды и растения и прочее, расспрашивал как они называются на его языке, и записывал это».

До 995 года Бируни жил в Хорезме. Помимо астрономических наблюдений его интересовали проблемы математической географии и геодезии. Он сконструировал 5-метровый земной глобус, вернее полуглобус, ибо о южном полушарии тогда ничего не было известно. С его помощью Бируни определял географические координаты и расстояния между населенными пунктами.

После свержения династии 'Иракидов в 995 году Бируни, занимавший видное положение при дворе хорезмшаха, вынужден скрываться. Гибнут результаты его первых научных трудов, его земной глобус. Бируни бежит в Рей (близ Тегерана), в то время один из крупнейших городов Ближнего Востока. В Рее он знакомится со многими учеными, работавшими на Рейской обсерватории. Среди них был изобретатель Фахриева секстанта Абу Махмуд ал-Ходженди — выдающийся астроном и математик X века.

В 997—998 годах Бируни вновь в родном Кяте. К этому времени отно-

* Переселенец из Византии. (Прим. ред.)

сится его переписка по вопросам философии и физики с Ибн Синой. Два великих современника обсуждали проблемы учения Аристотеля, причем Бируни чаще выступал оппонентом Аристотеля, а Ибн Сина — его защитником. В этой полемике Бируни мужал как исследователь.

В конце 998 года Бируни переезжает в Гурган (на берегу Каспийского моря), ко двору князя Кабуса ибн Вушмагира, едва ли не самого просвещенного в то время правителя. Кабус тепло принял ученого, и на первых порах Бируни пользуется его расположением. В Гургане Бируни уже считался крупным астрономом; он усиленно работал над первым капитальным трудом «Хронология» («Памятники, оставшиеся от минувших поколений») и закончил его в 1000 году. Однако вскоре свободолюбие и независимость Бируни вызывают недовольство князя, величавшего себя «Солнцем доблестей»:

И Солнце доблестей желанье изъя-
вило, чтоб я служил ему,
Поправ свои желанья.— Жестоко
было Солнце!

Кабус отказывает ученому в материальной поддержке, столь необходимой для его научных исследований. Бируни, например, не удается провести давно задуманные градусные измерения в Дихистане, чтобы уточнить размеры Земли. Ученый покидает Гурган.

По приглашению хорезмшаха в 1004 году он возвращается на родину и живет в новой столице Хорезма — Гургандже, где занимает почетное место советника шаха. Об этих годах

жизни он пишет: «Нашел немного досуга для астрономических измерений в дни убиенного эмира Абу-л-'Аббаса Ма'муна ибн Ма'муна хорезмшаха».

Ма'мун уважал Бируни и с почтением относился к науке. Об этом свидетельствует эпизод, записанный самим Бируни: «Однажды хорезмшах, сидя на коне, выпил несколько чаш вина и велел позвать меня. Я немного задержался, и когда подходил, хорезмшах погнал коня в мою сторону и, остановившись около меня, хотел было сойти с коня. Я пал ниц и заклил его, чтобы он не делал этого. Ма'мун произнес на это следующее арабское двустишие:

Наука превыше всякого

властительства,

и все люди сами к ней подходят.

Сама же она ни к кому не идет».

Внимание хорезмшаха к ученым привлекло в Гургандж крупнейшие умы Средней Азии XI века. Здесь работают философ Абу Сахль аль-Масихи, учитель Бируни Ибн Ирак, видный врач Абу-л-Хайр Ибн ал-Хаммар. Через год вслед за Бируни в Гургандж переезжает Ибн Сина. Бируни в это время занимается теорией движения небесных светил: движением Солнца по эклиптике и перемещением его апогея; движением Луны, ее апогея и узлов лунной орбиты; вычисляет эфемериды планет.

В 1017 году Махмуд Газнийский завоевал Хорезм. По его указанию Бируни и другие ученые покинули Гургандж и прибыли в Газну (современный Газни в Афганистане). В это время Бируни писал: «...Газна для меня, апеллирующего к возобновлению людского уважения, стала постоян-



ным местожительством. В ней я, если совладею с собой, буду заниматься тем, что еще не покинуло мою душу, а это — астрономические наблюдения и другие научные старания». И несмотря на недружелюбное отношение к нему Махмуда и его окружения, несмотря на отсутствие необходимых инструментов для астрономических наблюдений, Бируни прилагает героические усилия, чтобы продолжить научную работу. Он создает ряд новых оригинальных инструментов и систематически проводит астрономические наблюдения. Вскоре Бируни начинает писать свою «Геодезию». На первых ее страницах он рассказывает о засилии невежд при дворе Махмуда: «Воспылали они враждой к обладающим достоинствами и стали преследовать каждого, кто отмечен печатью науки, причиняя ему всяческие обиды и зло... Начали эти [невежды] единогласно одобрять самые низменные и наивреднейшие для всех нравы, в сути которых главное — неоправданная корысть; и можно увидеть в их [среде] лишь протянутую руку, которая не брезгует подлостью и которую не удержат ни стыд, ни

чувство достоинства. Стали они на путь соперничества в этом, пользуясь [всеми] возможностями для приумножения [подобных дел], что довело их в конце концов до отрицания наук и ненависти к их служителям. Неистовый из них относит науки к заблуждениям, дабы сделать их ненавистными для подобных себе по невежеству, и клеймит их клеймом ереси, чтобы открыть перед собою врата для уничтожения ученых и скрыть свою сущность под гибелью ученых и крушением наук».

Бируни всегда отстаивал достижения науки и вел горячие споры с ее врагами. Осмеливался он спорить и с самим Махмудом. Историк Йакут, живший в XI веке, пишет: «Однажды к султану прибыл посол турков. Он рассказал султану, что во всей стране, расположенной по эту сторону моря, по направлению к полюсу, он наблюдал Солнце, совершавшее движение вокруг полюса. Оно оставалось постоянно видимым, так что ночи не было. Султан обвинил его в связи с еретиками. Но кое-кто заметил, что посол рассказал о факте, который видел своими глазами. Султана заинтересовало мнение Бируни, и ученый объяснил возможность этого факта с такой ясностью, что султан остался удовлетворенным и обошелся с послом очень любезно».

В один из своих грабительских походов на Индию (1020—1024 годы) Махмуд взял Бируни. В крепости Нандна, близ Мультана, Бируни определил радиус Земли, измерив угол понижения горизонта. Результаты астрономо-геодезических наблюдений, проведенных в Хорезме и Индии, вошли в «Геодезию». Этот труд

Абу Райхан Бируни



Бируни закончил 20 сентября 1025 года. Бируни первый сделал научно обоснованную попытку выделить из практической астрономии круг геодезических вопросов в самостоятельную отрасль науки. Труд Бируни охватывает не только вопросы геодезии и геодезической астрономии. В нем автор обсуждает, например, назначение и происхождение наук. Происхождение наук он объясняет материальными причинами: «Таково положение наук. Их породили потребности человека, необходимые для его жизни. Сообразно с ними [науки] разветвились. Полезность наук — получение посредством их необходимых вещей, а не стяжаемые с их помощью золото и серебро».

Бируни побывал в Индии несколько раз и посетил многие города. Он изучил географическое положение Индии, санскрит, науку, культуру и обычаи индийского народа. Эти исследования легли в основу его третьего капитального труда — «Книги, содержащей разъяснения принадлежащих индийцам учений, приемлемых разумом или отвергаемых» («Индия»), которую он закончил в 1031 году. Академик В. Р. Розен оценивает «Индию» как «памятник, не имеющий себе равных во всей древней и средневековой литературе Запада и Востока».

После смерти султана Махмуда (1030 год) престол занял его старший сын Мас'уд, который создал благоприятные условия для научной работы Бируни. В период его царствования Бируни написал свой знаменитый «Канон Мас'уда». В предисловии Бируни пишет: «В остатке моей жизни он [Мас'уд] дал мне возможность посвятить себя служению науке, дал

свободу и заботился обо мне. Под своей защитой он опустил на меня завесу спокойствия и обильный дождь даров, непрерывно поддерживая это близостью, дружелюбием, радушием, лучше которого не бывает». В знак особой признательности Бируни решил «увековечить» имя Мас'уда, посвятить ему одно из самых крупных произведений, которого не могут коснуться, по выражению ученого, «ни время, ни смена властей», назвав его «Канон Мас'уда». Работа над «Каноном» продолжалась с 1031 по 1037 год. По словам историка Йакута, этот труд Бируни «стер следы всех книг, составленных по математике и астрономии».

В последние годы жизни Бируни трудится над двумя крупными работами. Первая под названием «Книга сводок для познания драгоценностей» («Минералогия»), посвященная минералам и металлам, преимущественно драгоценным, содержит около 50 названий. Вторую — «Книга о медицинских растениях» («Фармакогнозия») — Бируни не закончил. В ней рассказывается о видах лекарственных растений, их названиях у разных народов, но ничего не сказано о лечебных свойствах.

Бируни до конца своей жизни старался узнать тайны природы и правила жизни человеческого общества. Свидетелем смерти Бируни, как пишет Йакут, был кази (судья) ал-Валвалиджи. Когда кази вошел к Бируни, ученый находился в тяжелом состоянии, но попросил напомнить ему о неправильном распределении наследства. Кази, жалея друга, сделал намек, что в таком состоянии нельзя заниматься подобными вопросами. Биру-

ни ответил, что для него лучше умереть зная, чем не зная. Кази был вынужден коротко рассказать. Затем ученый высказал свои соображения. Кази вышел из дома Бируни и, не успев сделать ста шагов, услышал женский плач. Великий ученый Средней Азии Абу Райхан Бируни умер 11 декабря 1048 года в городе Газна.

За 75 лет жизни Бируни написал около 150 работ. До нас дошла лишь $\frac{1}{5}$ часть их. Астрономии Бируни посвятил около 60 работ, математике — 20, геодезии — 35. Тысячу лет изучается научное наследие Бируни. Исследователи творчества Бируни поражаются широтой знаний, логикой рассуждений и, наряду с гениальностью, отмечают высокие духовные качества Бируни — его трудолюбие, честность, справедливость, скромность. По словам востоковеда академика И. Ю. Крачковского, Бируни встает перед нами «как неутомимый исследователь, человек, который предъявлял к себе высокие требования, но желал многого и от других. Он был справедлив, но строг и неумолим, когда обнаруживал небрежность и отсутствие правдивости; это был человек, ученость которого обнимала все знания своего времени в области точных наук, стремление которого к исследованию составляет славу и честь своего народа и своей эпохи, а для позднейших поколений может служить образцом».

Бируни — исследователь и историк науки

Штрихи жизни. Биография Абу Райхана Мухаммада ибн Ахмада Бируни вырисовывается в основном из тех многочисленных замечаний, а нередко и горьких сетований на свою судьбу, которые разбросаны по его сочинениям. Жизнь его проходила при дворцах многих правителей, в обстановке бурной внутренней и внешней политической борьбы. В это время не раз перекраивалась политическая карта обширных пространств Азии, и родина Бируни — древний, богатый земледельческий Южный Хорезм — не раз переживал горечь порабощения. Поэтому от ученого требовались не только глубокая преданность науке, чтобы продолжать исследования в любых условиях, вплоть до военного похода, но и большой дипломатический талант, твердость духа и прямое мужество.

Бируни начал астрономические наблюдения, когда ему не исполнилось и семнадцати лет, а к двадцати двум годам он уже состоял придворным астрономом-геодезистом. Активное участие в политической жизни Хорезма вынуждало его прерывать научные занятия и даже эмигрировать, причем порой погибали все результаты его работы — инструменты, сочинения. После завоевания в 995 году и

Ряд биографических сведений уточнен по монографии П. Г. Булгакова «Жизнь и труды Бируни». Ташкент, изд-во «Фан», 1972 г. В статье ученые также некоторые новые сведения из докладов, которые были прочитаны на состоявшемся в мае 1973 года расширенном пленуме Советского национального объединения историков науки, посвященном 500-летию со дня рождения Коперника и 1000-летию со дня рождения Бируни.

объединения Хорезма Ма'муном ибн Мухаммедом — эмиром Северного хорезмийского государства — Бируни почти десять лет провел в эмиграции: сначала в Рее, а затем в Гургане. Лишь по приглашению его преемника Ма'муна ибн Ма'муна, наслышанного о высоком научном авторитете Бируни, ученый возвратился на родину и в новой столице Ургенче (Гургандж) играл основную роль в создании придворного объединения ученых, названного позднее историками «Академией Ма'муна». Но в 1017 году вместе с другими учеными Бируни был уведен в плен в Газну новым завоевателем Хорезма, деспотичным султаном Махмудом Газнийским. Благодаря хвалебным отзывам о Бируни, Махмуд также вскоре сделал его придворным ученым, однако откровенно определил и условия работы: «Если хочешь, чтобы при мне счастье было с тобой, то говори не по своей науке, а говори, что соответствует моему желанию».

В Газне Бируни провел почти всю вторую половину своей жизни, 31 год. Он сопровождал султана в его неоднократных походах на Индию и прожил там несколько лет. После смерти Махмуда (1030 год) Бируни работал в несколько лучших условиях при его сыне Мас'уде, а затем, после новых дворцовых переворотов, при внуке его. (К этому времени империя газнийских султанов ослабела и попала в зависимость от соседнего тюркского государства сельджуков.) Но политическая борьба между «чужеродными» правителями уже не затрагивала ученого, и он всецело отдался научным занятиям, не утратив, однако, твердости своих убеждений и

непримиримости духа. В своих научных сочинениях, особенно в «Индии», Бируни проявил небывалую и непростительную с точки зрения господствовавшей идеологии ислама объективность и благожелательность в описании обычаев, науки, культуры народов иной веры — индийцев. Более того, труд Бируни, вопреки традиции, не был посвящен султану.

Жизнь Бируни была целиком отдана науке, которой он занимался до глубокой старости. Единственными его «наследниками» стали сочинения. Умер Бируни 11 декабря 1048 года, к концу жизни почти потеряв слух и зрение, испорченное еще в юности при наблюдениях солнечных затмений.

Великое наследие. Бируни — один из наиболее ярких и глубоких энциклопедистов эпохи начавшегося в IX веке нового расцвета среднеазиатской науки и культуры. Он внес свой вклад в развитие четырнадцати областей науки и искусства: математику, астрономию, физику, химию, минералогию, геологию, географию, ботанику, медицину (фармацевтику), историю, этнографию, философию, филологию, поэзию. Но больше половины его почти полутора сотен сочинений относится к астрономии (в том числе к астрономо-геодезии) и математике. Многие из них не сохранились и известны лишь по названиям в списке, составленном Бируни, и по упоминаниям у других авторов.

Наиболее значительны два его труда: «Вразумление начаткам искусства звездочетства» (1030 год) и «Канон Мас'уда» (1036—1037 годы). Первый из них — учебный курс по астрономии и астрологии (последняя рассмат-



привалась тогда как важнейшее практическое приложение астрономии), а также по математике (геометрии, тригонометрии, арифметике). Книга построена в форме 530 вопросов и ответов. Приведены в ней и географические сведения. Она служила учебным пособием для нескольких поколений среднеазиатских астрономов.

Второе сочинение — основной и грандиозный научный труд Бируни по астрономии и связанным с нею разделам математики. В его одиннадцати частях-книгах (от 9 до 26 глав каждая) были впервые собраны, критически проанализированы и обобщены астрономические и частично географические знания, накопившиеся с древности до XI века. Первые две книги посвящены злбодневным и близким к практике проблемам хронологии — системам календаря и летосчисления у разных народов Запада, Востока и Индии. В третьей книге излагаются основы математики (геометрии и тригонометрии). Две следующие — содержат основы сферической астрономии и геодезии, а также результаты астрономо-геодезических измерений Бируни: географические координаты более 600 городов и размеры Земли. В шестой и седьмой книгах описывается наблюдаемое неравномерное движение Солнца и Луны (в геоцентрической системе мира). Восьмая книга посвящена лунным и солнечным затмениям. В девятой книге рассказывается о звездах. Бируни, в частности, обсуждает разделение Гиппархом неподвижных светил — звезд по их блеску и отмечает некоторое различие в оценках блеска звезд разными астрономами Востока. Значительную часть

девятой книги занимает звездный каталог Бируни (1029 звезд). Он был составлен на основе двух наиболее известных до этого каталогов: Птолемея (1022 звезды, II век) и персидского астронома ас-Суфи (1017 звезд, X век). Как и в прежних, в каталоге Бируни указаны эклиптические координаты (широты и долготы) звезд с точностью до 10'. Долготы звезд в каталоге Бируни (для 1031 года) отличаются от птолемеевых (139 год), как правило, на 13° (широты почти у всех совпадают), откуда получается весьма точное значение годичной прецессии (52",46 в год). Дальнейшее уточнение этой величины принадлежит Улугбеку (XV век). В десятой книге рассмотрена геоцентрическая теория движения планет и приведены таблицы планетных эфемерид. Наконец, одиннадцатая книга содержит астрономические основания астрологических расчетов.

С «Каноном Мас'уда» связан вошедший в историю ответ Бируни султану, которому было посвящено это сочинение. Мас'уд прислал автору в награду за него «слоновый выюк серебра». Отказавшись от награды, Бируни сказал: «Этот груз удержит меня от научной работы. Мудрые же люди знают, что серебро уходит, а наука остается».

Проблемы астрономо-геодезии и географии рассмотрены и в более раннем трактате Бируни «Геодезия» («Определение границ мест для уточнения расстояний между населенными пунктами», 1025 год). В нем Бируни делит Землю на семь климатических поясов, обсуждает причины изменения климата, высказывает идею закономерной смены суши морем,

а также развивает гипотезу постепенного образования различных слоев Земли и даже перемещения земного полюса. В его время еще сомневались, что и «обратная» сторона Земли может быть населена. Бируни был твердо убежден в этом и высказывал мысль о существовании населенных земель за Атлантическим океаном. Решал он и проблемы, близкие к практике: предложил по существу правильную теорию изменения течения Амударьи. О геологических процессах Бируни говорил: «Все такие процессы требуют длительного времени, точно неопределимого...»

В других, меньших по объему астрономических работах Бируни рассматривает задачи практической астрономии и геодезии, устройство и применение астролябий, методы наблюдения и математической обработки результатов, природу комет и метеоров.

Астрономические вопросы занимают и значительную часть двух фундаментальных историко-научных сочинений Бируни «Памятники минувших поколений», или «Хронология» (1000 год), и «Индия» (1030 год). Первое из них представляет собой обширный свод критически рассмотренных систем летосчисления (эп) и календарей у всех народов Востока и у греков с древности до XI века и содержит способы перехода от одной системы к другой. Если проблема летосчисления важна для изучения истории народов, то проблема календаря имела большое практическое значение, поскольку вся экономика Хорезма и соседних территорий опиралась на поливное земледелие с его четким распределением работ в

течение года. Составление календарей, в свою очередь, было связано с необходимостью более точного решения астрономических задач — измерения дня и ночи, тропического солнечного года, наклона эклиптики к экватору, движения Луны.

В «Индии», в астрономических главах книги (40 из 80) освещен огромный круг вопросов, но особое внимание уделено космологическим, космогоническим и общим натурфилософским проблемам.

Бируни в Европе — второе рождение. На Востоке и в Индии слава Бируни как одного из величайших ученых не меркла в течение веков. В Европе имя его было известно уже в XII веке. Но глубокие научные сочинения Бируни, особенно «Канон Мас'уда», доступны были немногим и изучались только в редких очагах знания — таких, как обсерватория Насирэддина Туси (XIII век) или знаменитая обсерватория Улугбека (XV век). В Европе с главными научными трудами Бируни стали знакомиться лишь с 30-х годов XIX века, когда в Париже появился перевод выдержек из «Индии». Серьезное изучение общего научного наследия великого хорезмийца началось в Европе позднее, после опубликования в Англии полных переводов «Хронологии» (1878 год) и «Индии» (1888 год). Энциклопедизм и глубина исследований Бируни в области собственно астрономии и математики стали раскрываться перед европейцами только с 20-х годов нашего столетия, когда вышли в свет первые комментированные переводы «Канона». Один из первых исследователей-математиков, специально изу-

чивший арабский язык, чтобы прочесть этот труд Бируни, и восхищенный богатством его содержания, сравнил себя с человеком, случайно заглянувшим через высокую ограду в прекрасный сад...

Главные из дошедших сочинений Бируни были изданы и у нас в стране. В 1950 году в Ташкенте была напечатана на узбекском языке переписка Бируни с его выдающимся современником, ученым и врачом Абу 'Али Ибн Синдой. В русском переводе опубликованы «Хронология» Бируни (1957 год), «Индия» и «Минералогия» (1963 год), «Геодезия» (1966 год). В 1962 году вышел комментированный перевод звездного каталога Бируни из «Канона Мас'уда» (в восьмом выпуске «Историко-астрономических исследований»). Первый полный перевод «Канона», который можно назвать «Альмагестом» средневекового Востока, готовится к печати в Ташкенте на узбекском и русском языках. Там же выйдет русский перевод последнего труда Бируни «Фармакогнозия в медицине».

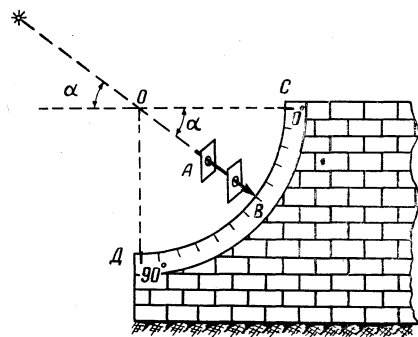
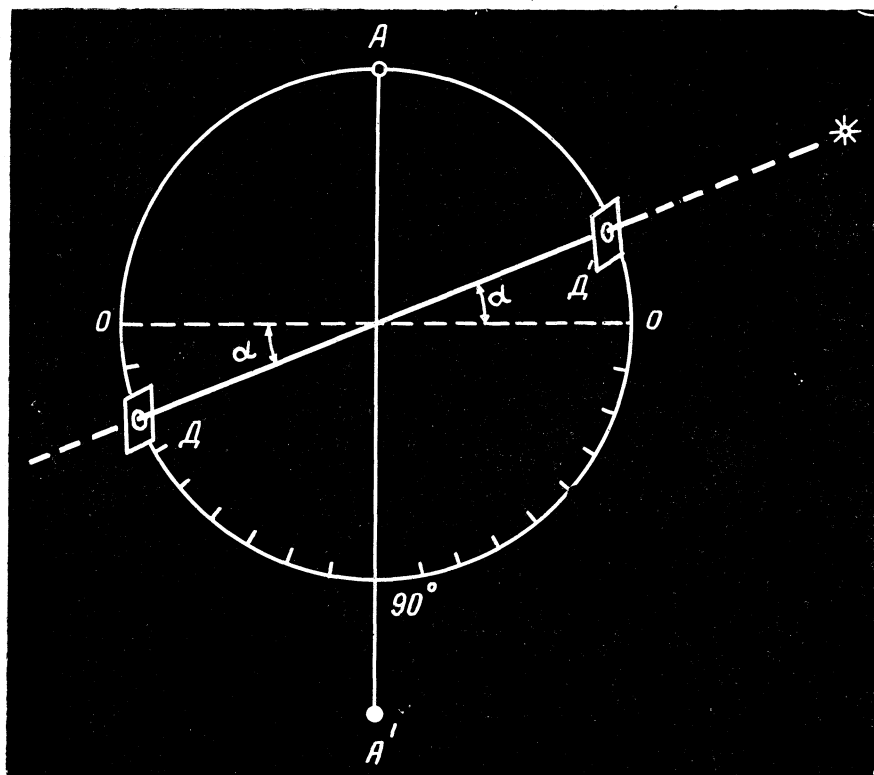
Перешагнувший столетия. За прошедшие века многие вопросы, злободневные во времена Бируни, утратили свою остроту, например проблема календаря. Более скромное место стала занимать и астрометрия. Канули в лету астрология, алхимия... Каждая эпоха ставит перед наукой свои задачи, и это необходимо учитывать при оценке научного вклада ученых прошлых веков. Но потомков особенно интересует, что из достигнутого или высказанного ученым опередило свое время, как далеко он смотрел вперед.

Для Бируни характерны были как

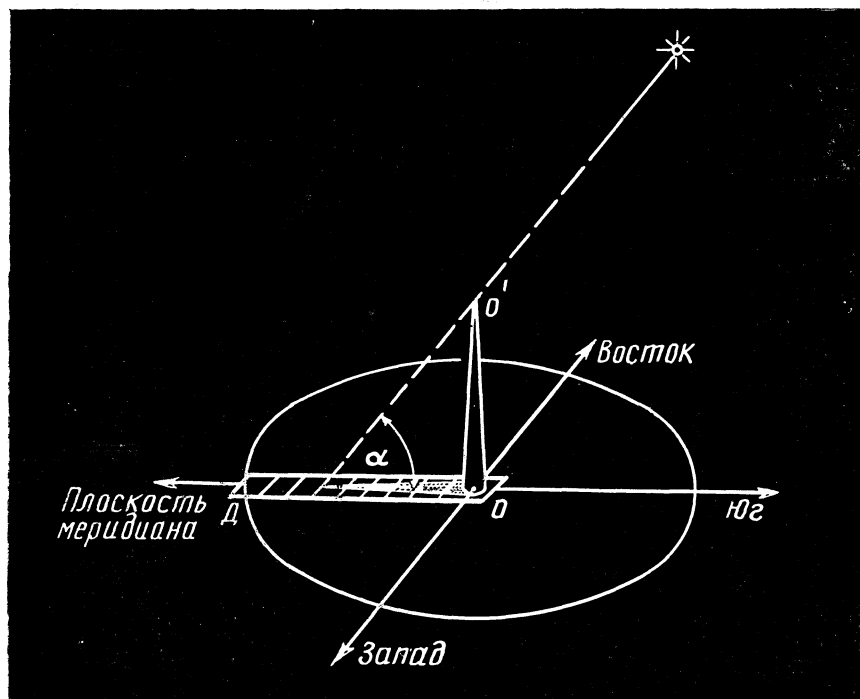
наблюдательно-теоретическое, так и натурфилософское направление исследований. Поскольку в кратком очерке отразить все научное наследие Бируни невозможно, ограничимся его астрономическими исследованиями и теми, которые были так или иначе связаны с ними.

Главным направлением астрономических работ Бируни было решение астрономо-геодезических задач и практическая астрономия (астрометрия). Успех здесь зависел и от инструментов, которыми измерялись угловые расстояния между объектами, и от развития математических методов обработки этих измерений.

Известно, что до начала XVII века астрономические измерения производились с помощью угломерных инструментов невооруженным глазом, без применения оптики. В эпоху Бируни существовало много десятков разновидностей таких инструментов: неподвижные стенные квадранты и секстанты (четвертая и шестая части круга, соответственно), всевозможные «круги» (или «кольца»), астролябии — наиболее сложный и универсальный переносной инструмент средневековой астрономии, и другие. Конструирование и совершенствование инструментов является одной из существенных заслуг Бируни. Начав с небольшого «кольца» с подвижным указателем — алидадой для определения высоты светила, Бируни строил в дальнейшем весьма точные большие инструменты. Он упоминает о своем горизонтальном круге диаметром 7,5 м с гномоном в центре (использовался, в частности, для определения наклона эклиптики к экватору), о большом стенном квадранте



«Кольцо» для определения высоты светила (схема) — один из первых инструментов, с которым наблюдал Бируни. Измерения высоты светила (угол α) проводились с помощью алидады — подвижной линейки с диоптрами (ДД'). «Кольцо» (линия горизонта) устанавливалось по отвесу AA'.



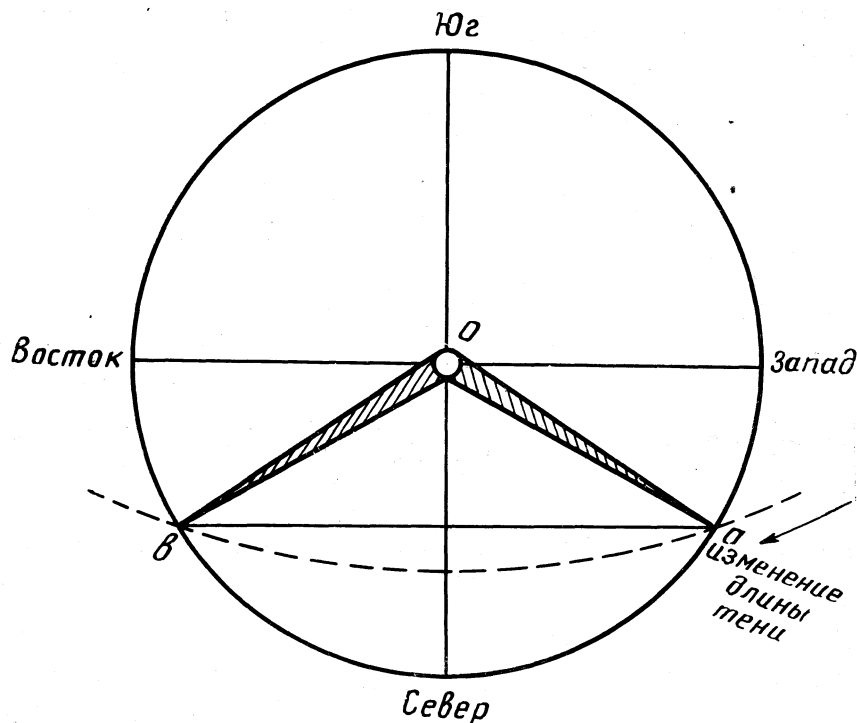
Горизонтальный круг с гномоном (OO') и подвижной измерительной линейкой (ОД). Такой инструмент диаметром 7,5 м Бируни использовал для определения наклона эклиптики к экватору по высотам Солнца (α) в различные моменты. Высоты Солнца измерялись либо в дни солнцестояний и равноденствий, либо в один и тот же день в кульминации и в точке заката.

Схематическое изображение стенового квадранта. СД — дуга окружности, диаметр которой в инструменте Бируни составлял 7,5 м. АВ — подвижной указатель с диоптрами; продолжение оси указателя проходит через центр кривизны дуги. Квадрант устанавливался в плоскости меридиана и служил для измерения высот светил в кульминации (угол α).

диаметром 7,5 м, на котором можно было измерять углы с точностью до 2'. Этот инструмент оставался непревзойденным 400 лет, до появления знаменитого секстанта Улугбека. Предметом особого внимания Бируни были астролябии. Ему принадлежит конструкция «смешанной» (для обеих небесных полусфер) и шаровой астролябий. Он же изготовил, по-видимому, первый географический глобус (или полуглобус) диаметром 5 м для быстрого определения координат одних пунктов по уже известным координатам других. К сожалению, ни один из этих инструментов не сохранился.

С именем Бируни связывают и остроумный способ определения сторон света с помощью «индийского круга».

Со своими инструментами Бируни провел измерения ряда важных астрономических величин (помимо уже упоминавшейся прецессии). К 1020 году он с небывало высокой точностью (до 1'') определил наклон эклиптики к экватору — $23^{\circ}34'00''$ (по современным данным для той эпохи — $23^{\circ}34'00''.45$) и впервые обнаружил и измерил его вековое уменьшение: $50'',6$ за 100 лет (современные данные для той эпохи — $46'',8$). Поскольку вплоть до XV века солнечный тропический год измеряли как промежуток времени между двумя летними солнцестояниями, уточнение наклона эклиптики к экватору и его изменения были важны для календарных расчетов, а также для составления звездных каталогов в эклиптических координатах. Бируни сделал обоснованный вывод о сокращении периода весны и удлинении периода лета и окончательно установил, что долгота солнеч-



ного апогея медленно растет*. Он довольно точно измерил эту величину — $52'',2$ в год (отличается от действительного значения — $61'',9$ всего на $9'',7$) и составил таблицы изменения долготы апогея Солнца на 300 лет вперед, с 1032 по 1332 год. Бируни с большой точностью определил суточное движение узлов лунной орбиты и максимальное расстояние Луны от Земли — 65 земных радиусов (действительное — 63,5). Правда, минимальное значение этого расстояния у него получилось с большой ошибкой.

Между 1022 и 1024 годами в Индии, близ крепости Нандна, Бируни, приметив довольно высокий холм посреди плоской пустыни, воспользовался старым методом арабских астрономов и провел давно задуманное измерение земного шара по пониже-

нию горизонта при наблюдении с вершины горы. Приведенные им в «Геодезии», а затем в «Каноне» результаты немного различаются, но оба поразительно близки к современным для той же широты места (32° с. ш.). По Бируни, 1° дуги меридиана равен 110,278 км или (в «Каноне») — 110,691 км*. Современные данные —

■ *«Индийский круг» — предложенный Бируни простой способ определения сторон света по двум симметричным положениям тени (Oa и Ob) от гномона (O) в моменты, когда конец тени касается круга. Этот способ употребляли на Среднем Востоке до конца XI века (когда, компас еще не был там известен)*

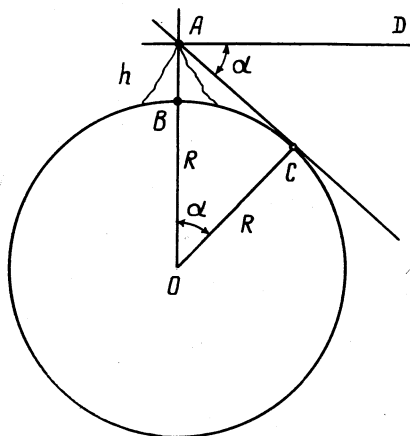
* Движение Солнца, как уже говорилось, Бируни рассматривал в геоцентрической системе. В гелиоцентрической системе вместо долготы солнечного апогея рассматривают равную ей по величине долготу перигелия Земли.

* У Бируни результаты приведены в «локтях» и арабских милях в шестидесятиричной системе счета: $55^{\circ}53'15''$ и $56^{\circ}5'50''6'''$ араб. мили, что в десятичной мере соответствует 55,888 и 56,097 араб. мили (1 араб. миля = 1973,2 м). Там же сообщается полученное Бируни значение радиуса Земли: 1081,66 фарсанга, или 6403 км (1 ф = 3 араб. милям).

110,895 км. Таким образом, ошибка Бируни составляет всего 0,5% измеряемой величины! Если измерения проводились без учета рефракции (о которой, впрочем, Бируни знал, указывая, что звезды из-за нее бывают видны еще некоторое время после вычисленного момента своего захода), то здесь, вероятно, дело не обошлось без случайной взаимной компенсации ошибок измерения, что бывало не раз в истории астрономии.

Бируни одним из первых после древних греков не только широко применял, но и развивал плоскую и сферическую тригонометрию. Историки, математики и механики особо отмечают изящество и новизну его математических и механических методов. Описывая неравномерное движение Солнца по эклиптике и сравнивая его с эквивалентным равномерным движением по вспомогательному кругу, Бируни близко подошел к понятию мгновенной скорости движения. Он отметил на эклиптике точку между апогеем и перигеем, где замедленное в районе апогея движение Солнца переходит в ускоренное в районе перигея. В этой точке, по Бируни, «действительное» движение Солнца происходит со скоростью, равной скорости эквивалентного равномерного движения его по вспомогательному кругу.

Если уже в древности и тем более в средние века астрономия положений — астрометрия — достигла весьма высокого уровня развития, то физические свойства небесных объектов — цвет, его изменения, различные световые и цветовые эффекты, — если и привлекали внимание, то истолковывались разве что в астрологиче-



ском смысле, как некие предзнаменования. На этом фоне существенным шагом вперед были попытки Бируни дать естественное объяснение некоторым из этих фактов. Как обычно, он подошел к ним исторически и сначала собрал по возможности все сведения и мнения о них. Затем он детально обсудил, например, различные описания цвета Луны во время ее затмений. Уточнив картину по собственным наблюдениям, Бируни отметил, в частности, что многие неверные утверждения диктовались, вопреки наблюдениям, нуждами астрологии (например, всегда мрачный цвет Луны при затмениях в некоторых «несчастливых» созвездиях и, напротив, более светлый — в других).

Одним из первых Бируни обратил внимание на «хвосты, которые видны вокруг затемненного Солнца», и объяснил их исходя «из естествознания» как «дымоподобные образования, поднимающиеся до того места (над поверхностью Солнца — А. Е.), где они сгорают в горячем воздухе —

сфере, родственной огню». При всей очевидной привязанности этой картины к «естествознанию» Аристотеля здесь важно то, что Бируни впервые четко отметил принадлежность видимого вокруг Солнца ореола во время затмений (корона) самому Солнцу (споры по этому вопросу продолжались еще и в XIX веке).

Особого внимания заслуживает физическое объяснение, которое Бируни, опять-таки первый, дал свечению сумеречного неба. В этом явлении он выделил три стадии. Самое раннее перед восходом (и самое позднее после заката) свечение — «вытянутый столб света», который известен был в народе как «волчий хвост», Бируни назвал «ложным рассветом». Затем следовали две стадии собственно рассвета — «настоящий рассвет» (сияние полукругом над горизонтом) и заря (вечером, соответственно, в обратном порядке следовали две стадии заката). До этого на явление зари обращали внимание, скорее, как на сигнал к очередной молитве. Между тем Бируни так описал зарю: «...Горизонт становится красным из-за выходящего Солнца, пропускающего свои лучи через слои пыли, содержащейся в воздухе над землей». Два других вида свечения сумеречного неба он также объяснил рассеянием света невидимого Солнца на пылинках, но при наблюдении их не прямо, а со стороны, подобно столбу света в темной комнате (говоря современным языком, в отраженном, а не в проходящем свете, как в случае зари). По существу, эти объяснения сохраняют научный смысл и в наше время, а выделение «волчьего хвоста» из явления рассвета представляет со-

■
Схема измерения радиуса Земли (R) по углу понижения горизонта ($\angle CAD = \alpha$) при наблюдении с горы (высота горы h): $\cos \alpha = R/(R+h)$, откуда $R = h \cdot \cos \alpha / 2 \sin^2 (\alpha/2)$. Воспользовавшись этим способом, Бируни нашел, что радиус Земли равен 6403 км ($\alpha = 34'$)



бой наиболее раннее из известных описание зодиакального света.

В свой учебник по искусству звездочетства, а затем и в «Канон» Бируни включил необычную для средних веков физическую картину Млечного Пути (ошибочно приписав эти представления Аристотелю, тогда как они, скорее, выражают точку зрения Демокрита). В первом из упомянутых сочинений он писал: «Млечный Путь... есть собрание несчетных... туманных звезд... Аристотель считал, что он сформирован огромным скоплением звезд, размытых дымными парами, находящимися перед ними, и сравнивал это с гало и туманностями». (Между тем о Млечном Пути тогда были распространены самые фантастические представления: след прежнего пути Солнца, молочная река, по которой следуют души умерших, и тому подобное.) В «Каноне Мас'уда» Бируни отмечает также существование «сдвоенных звезд», которые, как он считал, трудно различить по отдельности лишь из-за несовершенства нашего зрения.

Дошедшие до нас отрывочные сведения говорят, что Бируни интересовался коренными проблемами физики, решение которых стало возможным лишь спустя многие века. В переписке с Ибн Синой он обсуждал закономерности свободного падения тел, явление теплопроводности, свойство прозрачности тел, природу света, острую тогда проблему существования пустоты и другие. В его «Хронологии» есть попытки объяснить действие солнечных лучей. В «Каноне» он обсуждает по существу вопросы геометрической оптики — эффекты, возникающие, когда «при прямо-

линейном поступательном движении света... прямолинейность прервется. Например, благодаря отражению в сторону, откуда идет свет, или даже из-за преломления в другую сторону; из-за этого наблюдаемый предмет кажется больше или меньше, или он кажется на другом месте, чем находится в действительности». Бируни пользовался при чтении мелкого текста уже известной тогда плоско-выпуклой линзой (из топаза). В переписке с Ибн Синой он задавал вопрос, почему зажигательное действие стеклянного шара возникает, когда шар наполнен водой, но отсутствует, если он наполнен воздухом.

В трактате «Минералогия» Бируни привел свои весьма точные результаты определения удельных весов для 18 минералов и металлов (по весу вытесняемой ими воды). Эти эксперименты поражают даже сейчас физиков и историков физики своей тщательностью, стремлением, по существу, к стандартизации условий измерений, что приближает Бируни к современным экспериментаторам. Проникновение в глубь наблюдаемых побочных явлений позволило ему усовершенствовать сам прибор — заменить в сосуде тонкую отводную трубку открытым желобком для более свободного вытекания жидкости. В «Минералогии» Бируни описал характерные свойства янтаря и магнитного железняка (за 600 лет до появления в Европе первого трактата о магните).

В «Минералогии» (в разделе о железе) содержится одно из наиболее ранних и детальных описаний железного метеоритного дождя «в ясный день» в селении Та'ун, в Бушандже. Отмечено, что этот дождь состоял из

металлических обломков, которые были очень горячи и покрыты местами окалиной в виде корки, каждый кусок весил «от мана до двух манов». Там же упомянут большой кусок железа, хранившийся в Джуджане и похожий на якорь, форма которого, по мнению Бируни, «изменилась вследствие нагревания, которому он подвергся благодаря силе, с которой был выброшен», как он предполагал, из недр Земли. В эпоху, когда подобные явления воспринимались не иначе как знамения свыше, он объяснял их естественными причинами — действием во время грозы сильного ветра, поднимающего даже тяжелые предметы.

К чрезвычайно злободневному для средних веков вопросу о влиянии небесных светил и явлений на судьбу людей Бируни относился, по меньшей мере, скептически. В то же время он признавал физическое влияние Солнца и Луны на природные процессы и явления на Земле (приливы и отливы, погоду).

Натурфилософская сторона научной деятельности Бируни проявилась главным образом в его сочинении «Индия». Стремление выйти за рамки непосредственного опыта и охватить умственным взором общие, существенные черты окружающего мира во все века отличало крупных исследователей. У Бируни оно сочеталось еще и с характерным для всего его научного творчества историческим подходом к каждой проблеме. Сравнивая натурфилософские концепции индийцев и греков, он, как правило, отмечает большую четкость, разработанность древнегреческих учений о природе и соглашается со многими их

идеями. По мнению известного переводчика и исследователя трудов Бируни П. Г. Булгакова, Бируни принимал идею Демокрита о множественности миров как различных совокупностей небесных тел. Напротив, в древних индийских натурфилософских концепциях Бируни видит немало противоречий и фантастических представлений о Вселенной. Вместе с тем, он впервые знакомит читателей арабского мира с отдельными глубокими философскими идеями индийских мыслителей об активности (саморазвитии) материи, ее вечности, неразрушимости и несотворимости, о возможности разложения каждой вещи на простые элементы, о возможности «изучения только чувственно ощущаемого мира». Бируни проводит тщательное сравнение и находит много общего в представлениях древних индийцев и греков по конкретным астрономическим вопросам. Это — заключение о шарообразности Земли, о сферичности и невообразимо громадных размерах Вселенной. Высмеивая наивность представлений древних индийцев о происхождении Вселенной из первоначального «яйца» (брахманды), которое раскололось на «небо» и «землю», Бируни в то же время ищет под этой наивно-наглядной формой древней космогонии рациональную философскую идею. Он сравнивает сходные у индийцев и древних греков учения о пяти основных элементах и приходит к выводу, что, по существу, образ крайней оболочки Вселенной (как бы скорлупы яйца) соответствует в более рациональной научной картине мира греков мировому эфиру, охватывающему все существующее.

سورة الدب الأصغر									
العدد	المواضع	الخطوط	الرمز	الطول	العرض	المساحة	المواضع	الخطوط	الرمز
١	٢٧	١	أ	١	١	١	مواقع الكواكب من الضوء	١	٢٧
٢	٢٨	١	ب	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٢٨
٣	٢٩	١	ج	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٢٩
٤	٣٠	١	د	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٣٠
٥	٣١	١	هـ	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٣١
٦	٣٢	١	و	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٣٢
٧	٣٣	١	ز	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٣٣
٨	٣٤	١	ح	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٣٤
٩	٣٥	١	ط	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٣٥
١٠	٣٦	١	ي	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٣٦
خارج الدب الأصغر									
١	٣٦	١	أ	١	١	١	الدب استقامة الفردوس من جهة الشمال	١	٣٦
سورة الدب الأكبر									
العدد	المواضع	الخطوط	الرمز	الطول	العرض	المساحة	المواضع	الخطوط	الرمز
١	٣٦	١	أ	١	١	١	مواقع الكواكب من الضوء	١	٣٦
٢	٣٧	١	ب	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٣٧
٣	٣٨	١	ج	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٣٨
٤	٣٩	١	د	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٣٩
٥	٤٠	١	هـ	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٤٠
٦	٤١	١	و	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٤١
٧	٤٢	١	ز	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٤٢
٨	٤٣	١	ح	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٤٣
٩	٤٤	١	ط	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٤٤
١٠	٤٥	١	ي	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٤٥
١١	٤٦	١	أ	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٤٦
١٢	٤٧	١	ب	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٤٧
١٣	٤٨	١	ج	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٤٨
١٤	٤٩	١	د	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٤٩
١٥	٥٠	١	هـ	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٥٠
١٦	٥١	١	و	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٥١
١٧	٥٢	١	ز	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٥٢
١٨	٥٣	١	ح	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٥٣
١٩	٥٤	١	ط	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٥٤
٢٠	٥٥	١	ي	١	١	١	عن الدب وهو من الضوء	١	٥٥

Первая страница звездного каталога Бируни из «Канона Мас'уда»



Бируни соглашается с идеей древнеиндийских мыслителей о тождественности огненного Солнца и слабых светящихся точек — звезд, с тем, что планеты и Луна — темные тела и лишь отражают свет Солнца. Он признает истинность учения астронома, математика и философа VII века Брахмагупты о Земле как центре тяжести всех тел и разумность связанного с этим вывода о принципиальной возможности ее вращения (тела не оторвутся от Земли, чего опасались сторонники ее неподвижности). Бируни отмечает, что все наблюдаемые астрономические явления (движения светил, их восходы и заходы) не противоречат вращению Земли, но добавляет: «...однако, оно представляется невозможным по другим причинам». Поэтому центральное положение и неподвижность Земли не вызывали у него сомнения. Интересно, что аргументом неподвижности Земли «на своем месте» (отсутствие вращения) Бируни считал ненаблюдаемость эффекта сложения скоростей при прыжке человека к востоку и к западу, хотя человек и получает в первом случае дополнительную скорость к скорости своего движения вместе с Землей, отчего прыжок должен быть длиннее. И Бируни был прав. Эффект не наблюдался лишь из-за несоизмеримой малости скорости человека по сравнению со скоростью вращения Земли. Сейчас этот эффект используется при запусках спутников, обычно осуществляемых в восточном направлении. Кстати, Бируни в «Каноне» довольно точно оценил ожидаемую скорость вращения Земли (около 0,5 км/сек), но отсутствие представлений об основных зако-

нах механики не позволяло осознать, что и такая громадная скорость может оставаться незаметной для земного наблюдателя.

Что касается представлений о происхождении мира и всех движений в нем, то первопричиной всего сущего Бируни считал бога, который, однако, не влияет в дальнейшем произвольно на природные процессы, протекающие по определенным, раз и навсегда установленным «естественным» законам. Такое учение называется деизмом. Для того времени оно было прогрессивным.

Детально и объективно излагая для читателей арабского, мусульманского мира внимательно проанализированные и освобожденные от последующих искажений натурфилософские древнеиндийские учения, Бируни с той же просветительской целью переводил на санскрит «Альмагест» Птолемея и «Начала» Евклида.

Совершенно особое значение имеют обширные вводные части крупнейших трудов Бируни — «Хронологии», «Геодезии», «Индии», «Минералогии», где он изложил основы своего научного метода: точность наблюдений, построение на этой основе объективных умозаключений, проверка их опытом. Там же содержатся его взгляды на изучение истории наук и народов. Несмотря на то, что эти сочинения были написаны в разное время — в начале, середине и в конце жизни ученого, — его убеждения не изменились.

Отмечая особенности исторического исследования, Бируни говорит, что хотя «сообщение не то, что видение воочию», тем не менее историческое исследование имеет свои преимуще-

ства, так как в отличие от непосредственного наблюдения отдельных фактов оно не ограничено узкими отрезками времени. Одно из главных требований Бируни при изучении истории (в том числе истории науки) — опора на первоисточники, а когда это невозможно — критическое, сравнительное изучение всех доступных источников, чтобы отделить правду от выдумки. «Правдивость или ложность ему [историческому сообщению] придают передатчики вследствие противоречивости интересов и из-за того, что взаимные раздоры и распри одолевают [все] народы». Поэтому Бируни особенно высоко ценил правдивость ученого и уже в раннем своем труде «Хронология» писал, что, приступая к исследованию истории, «предварительно необходимо очистить свою душу от [дурных] свойств, которые портят большинство людей, и от причин, делающих человека слепым для истины, то есть от укоренившихся привычек, пристрастия, соперничества, покорности страстям, борьбы за власть и тому подобного». Тридцать лет спустя в «Индии» звучит его не менее страстный призыв: «Только тот, кто сторонится лжи и придерживается правды, достоин одобрения и похвалы, даже по мнению лжецов, не говоря о других». На себе самом Бируни испытал всю трудность такого пути и потому мог с полным правом сказать: «То [моральное] качество, которое толпа принимает за мужество, видя стремление идти в бой и дерзкую готовность броситься навстречу гибели, есть только одна из его разновидностей; самое же мужество, возвышающееся над всеми другими его разновидностями, заключа-

Астролябии Бируни

Профессор
Б. А. РОЗЕНФЕЛЬД,
А. К. ТАГИ-ЗАДЕ

ется в презрении к смерти, все равно — выражается ли оно в речи или в действии».

Наконец, в предисловиях к «Геодезии» и «Минералогии», написанной в последнее десятилетие жизни, Бируни выступает не только как глубокий философ, психолог, историк, но и как незаурядный социолог. Не только глубоко научными, но именно материалистическими являются его рассуждения о том, как надо понимать пользу науки (не требуя от нее немедленных практических выгод), о происхождении наук в человеческом обществе из потребностей практики. Бируни указывает на экономическую основу происхождения и самого общества. Он пишет далее о принципах и методах обмена товарами, в частности, утверждает, что золото имеет ценность лишь как всеобщий эквивалент при таком обмене и потому оно должно находиться в обращении, а не накапливаться в одних руках. По его мнению, неоспоримые преимущества имеет свободный труд перед насильственным.

Все это поражает глубиной и прогрессивностью содержания и заставляет забывать, что эти мысли, причем не мимолетные, а обоснованные наблюдениями, выношенные в течение десятилетий, были высказаны на средневековом Востоке, в условиях феодализма и деспотичных монархий, более девяти столетий тому назад!

К наиболее интересным математико-астрономическим сочинениям Абу Райхана Бируни относится его трактат «Исчерпание методов, возможных при конструировании астролябии». Астролябиям посвящены также сочинения Бируни «Трактат об астролябии», «Книга жемчужин о плоскости сфер», «Книга о проектировании созвездий на плоскость» и «Об облегчении исправления астролябий и о действиях с астролябиями, составленными из северной и южной».

Слово «астролябия» происходит от греческого названия астрономического инструмента «астролабон органон», что означает «инструмент, схватывающий звезды» («астер» — звезда и «лабейн» — схватывать). Однако инструмент, который греки так называли, идентичен армиллярной сфере.

Современная школьная астролябия представляет собой угломерный инструмент, состоящий из горизонтального диска, укрепленного на штативе. В центре диска вращается линейка — алидада с двумя диоптрами, по краю диска нанесены градусные деления. С помощью этой астролябии измеряются углы между направлениями в горизонтальной плоскости. Причем же здесь «схватывание звезд»?

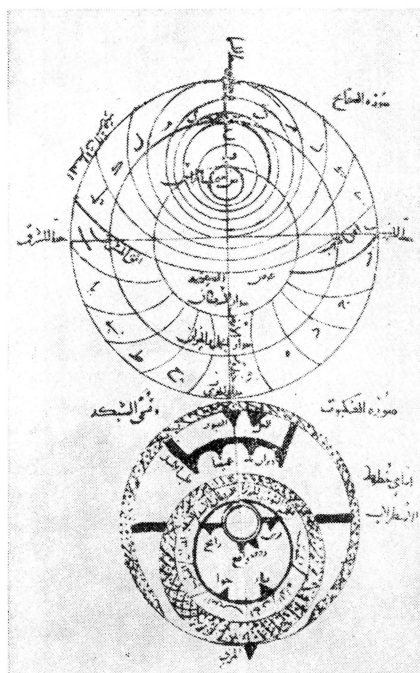
К звездам имела отношение средневековая астролябия, устройство которой было значительно сложнее. Диск с алидадой в те времена назывался спинкой астролябии. Астролябия подвешивалась за шнурок в вертикальной плоскости, проходящей через светило, на него направлялась алидада астролябии, и острие алидады, движущееся по краю диска с градусными делениями, указывало высоту светила над горизонтом в градусах

и минутах. Лицевая сторона астролябии состояла из неподвижного диска (тимпана) и вращающегося вокруг его центра резного диска, называемого пауком. На тимпане и пауке наносились различные элементы небесной сферы. При их изображении обычно применялась стереографическая проекция, то есть проекция из одного какого-нибудь полюса сферы на плоскость ее экватора (или на параллельную ей плоскость). Стереографическая проекция обладает тремя замечательными свойствами: круги на сфере соответствуют прямым линиям, если круги проходят через полюс проектирования, и кругам в остальных случаях; углы между линиями на сфере изображаются на плоскости в натуральную величину и, наконец, вращение сферы вокруг оси, проходящей через полюс проектирования, изображается на плоскости вращением вокруг точки ее пересечения с осью. Обычно небесная сфера проектировалась из южного полюса мира на плоскость небесного экватора. Эта астролябия называлась «северной астролябией». При такой проекции небесный экватор изображался кругом с центром в точке пересечения плоскости с осью, а все параллели небесного экватора — кругами, концентричными с кругом экватора. Наиболее важное значение из этих параллелей имели небесные тропики — параллели, касающиеся эклиптики (название происходит от греческого слова «тропик» — «поворот», поскольку в этих точках эклиптика как бы перестает удаляться от экватора и поворачивает снова к нему). Тропики касаются эклиптики в тех точках, в которых Солнце бывает в дни летнего и

зимнего солнцестояния. В один из этих дней Солнце входит в знак зодиака, называемый Раком, и соответствующий тропик получил название тропика Рака. Другой назван тропиком Козерога. На северных астролябиях тропик Козерога находится вне круга, изображающего экватор, а тропик Рака — внутри этого круга, в этом случае изображение небесной сферы ограничивалось кругом, соответствующим тропику Козерога.

На тимпане изображаются линии и точки небесной сферы, положение которых не изменяется во время суточного вращения небесной сферы, — экватор, тропики, горизонт и его параллели (альмукантараты), точка зенита, круги азимутов (вертикалы). На пауке воспроизведены круги и точки небесной сферы, которые изменяют свое положение при ее суточном вращении, — эклиптика и примерно 25 самых ярких звезд (фундаментальные звезды). Поскольку горизонт составляет с небесным экватором угол, равный дополнению широты местности до 90° , тимпаны изготавливаются в расчете на определенную широту местности. К астролябии прилагается набор тимпанов для различных широт, обычно 10 дисков, разгравированных с обеих сторон.

Измерив высоту светила с помощью алидады, вторую координату светила — азимут определяли следующим образом. Если была известна высота Солнца, то на круге, изображающем эклиптику, искали точку, в которой Солнце находилось в день наблюдения (для этого на круге часто изображался зодиакальный календарь). Если же была определена высота звезды, то находили ее изображение на



пауке. Далее паук поворачивался вокруг центра диска, чтобы изображение Солнца в данный день или изображение звезды попали на альмукантарат, соответствующий найденной высоте. Тогда круг азимута, проходивший через изображение светила, указывал азимут этого светила.

После поворота паука все изображения светил соответствуют их расположению на небе в момент наблюдения высоты, то есть получается точное стереографическое изображение всех светил, указанных на пауке астролябии, в этот момент. В частности, определялась точка пересечения эклиптики с горизонтом в момент наблюдения. Ее называли гороскопом, так как использовали для астрологических предсказаний. Угол поворота паука от его положения, при котором изображение Солнца в данный день находится на круге горизонта, до положения, когда светило поме-

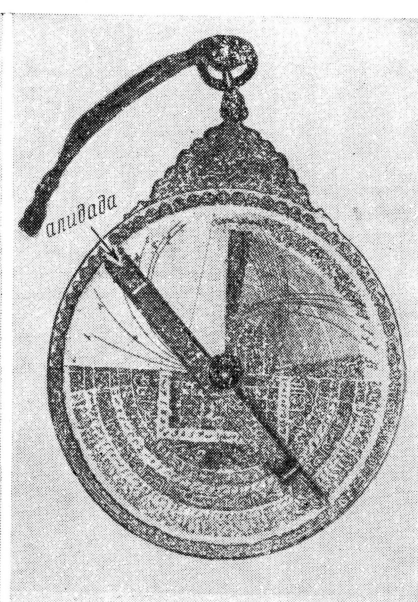
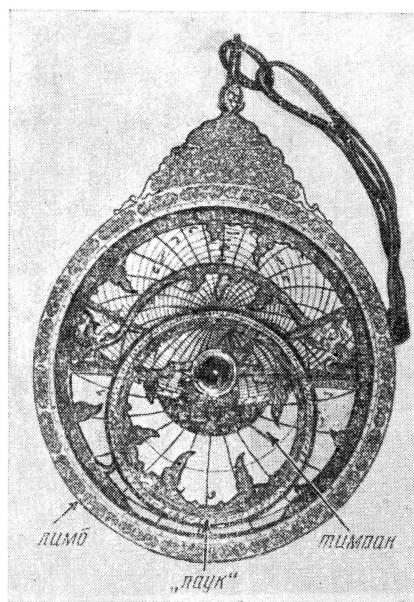
щается на альмукантарат, определяет время дня или ночи, прошедшее до момента измерения высоты светила. Это время измеряется в астрономических часах, называвшихся на средневековом Востоке «прямыми часами». Время в общепринятых на Востоке «косых» часах, равных $1/12$ светлого или темного времени суток, определяется с помощью «часовых линий», расположенных на тимпане ниже линии горизонта.

На спинке астролябии помещались также синус-квадрант и тангенс-квадрант, пользуясь которыми легко определяли синусы, косинусы, тангенсы и котангенсы углов.

Самые разнообразные астролябии описал Бируни в своем трактате «Исчерпание методов, возможных при конструировании астролябии». Трактат состоит из 71 главы. Вначале Бируни излагает теорию построения обычной астролябии, южной астролябии, основанной на проектировании небесной сферы из ее северного полюса, смешанных астролябий, состоящих из северных и южных. Теория смешанных астролябий принадлежит в значительной степени самому Бируни. Описывает Бируни и «челнообразную астролябию», изобретенную его другом Абу Саидом Сиджизи, одним из лучших знатоков астролябий. В инструменте Сиджизи эклиптика и фундаментальные звезды изображены на неподвижном тимпане, а горизонты для различных широт напоминают челн с мачтой, вращающийся вокруг некоторой точки на мачте. Об этой астролябии Бируни писал: «Я нашел, что это — прекрасное изобретение, принцип которого основан на убеждении некоторых

Страница с изображением тимпана и паука астролябии из книги Бируни «Вразумления начаткам искусства звездочетства»

людей в том, что упорядоченное движение Вселенной принадлежит Земле, а не небесной сфере». Рассказывает Бируни и о сферической астролябии, в которой небесная сфера непосредственно моделируется в виде небольшой сферы, по которой скользит сферический паук (этот инструмент похож на армиллярную сферу). Прежде чем перейти к описанию других типов астролябий, Бируни обсуждает вопрос о построениях конических сечений на плоскости с помощью совершенного циркуля (циркуль, одна из ножек которого может изменять свою длину), изобретенного Сиджизи, и о вычерчивании эллипса с помощью нитей. Далее он рассказывает об астролябиях, в которых круги небесной сферы изображаются на плоскости в виде эллипсов и других конических сечений. Такие астролябии получаются, если проектировать небесную сферу не из ее полюсов, а из какой-либо иной точки ее оси или параллельно оси. По-видимому, Бируни самостоятельно разработал способ проектирования сферы из точки ее оси, так как изложению этого способа и построению соответственной астролябии посвящен его ранний трактат «Книга жемчужин о плоскости сфер». Под «плоскостью сфер» имеется в виду плоскость, на которой изображаются сферы. (Заметим, что в недавно вышедшей монографии П. Г. Булгакова «Жизнь и труды Бируни» этот трактат считается несохранившимся до наших дней.) Позднее Бируни, вероятно, узнал, что эта астролябия была изобретена незадолго до него среднеазиатским астрономом Абу Хамидом Сагани и описана им в «Книге о



способе проектирования сферы на плоскость астролябии». В трактате об астролябиях Бируни уже ссылается на книгу Сагани и называет проекцию Сагани его термином — «совершенная проекция». Там же Бируни излагает теорию построения изобретенной им цилиндрической астролябии, которая основана на параллельном проектировании небесной сферы на плоскость экватора вдоль ее оси. В конце трактата об астролябиях Бируни описывает разработанный им механический календарь, близкий по устройству к механическим часам, но еще без непрерывно действующего движителя.

Устройству астролябии и решению практических задач посвящены «Трактат об астролябии» и один из разделов знаменитой книги Бируни «Вразумление начаткам искусства звездочетства». В этих сочинениях приводятся решения задач по опре-

делению расстояний до неподвижных предметов путем измерения углов (глубина колодца; расстояние до горы, находящейся по другую сторону реки; высота горы и так далее).

Из астролябий позднейших веков наиболее интересна изобретенная аз-Заркали в XI веке универсальная астролябия. На диске этого инструмента круги небесной сферы изображены в стереографической проекции из точки равноденствия на диаметрально противоположную через точки солнцестояний. В этой проекции небесный экватор и эклиптика изображаются прямыми. Универсальная астролябия пригодна для любых широт. На ней, как и на астролябии Сиджизи, звезды нанесены на неподвижном диске, а линия горизонта заменена линейкой с передвигающимся по ней шарнирным механизмом. «Палец» этого механизма может быть поставлен в любую точку диска.

Астролябии широко применялись в странах Востока и в Европе до изобретения оптических инструментов и точных часов, с помощью которых те же задачи стали решать более просто, тогда астролябия и превратилась в угломерный инструмент.

Лицевая сторона обычной астролябии

Оборотная сторона той же астролябии

Всесоюзная астрономо-геодезическая конференция

С 17 по 19 апреля 1973 года в столице Грузии Тбилиси проходила I Всесоюзная астрономо-геодезическая конференция, организованная Всесоюзным астрономо-геодезическим обществом, Астрономическим советом АН СССР и Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР.

Это был всесоюзный форум астрономов и геодезистов, первый со времени проходившего в январе 1934 года в Москве I Всесоюзного астрономо-геодезического съезда. Как хорошо известно, начиная с 1955 года регулярно через пять лет проводятся Всесоюзные съезды ВАГО, но делегаты этих съездов представляют в основном отделения ВАГО и учреждения, являющиеся членами-коллективами общества. Ученые, не состоящие в ВАГО (а такие, к сожалению, есть), не бывают на съездах. Кроме того, много места в программах съездов ВАГО занимают организационные вопросы. Для обсуждения научных проблем остается сравнительно мало времени. Отраслевые же конференции, созываемые Астрономическим советом АН СССР, касаются обычно лишь узких проблем и не затрагивают общего состояния и перспектив развития нашей науки. То же относится и к научно-техническим совещаниям, проводимым геодезическими организациями.

Всесоюзную астрономо-геодезическую конференцию решено было посвятить обсуждению узловых проблем развития астрономии и геодезии в СССР. Академия наук Грузинской ССР охотно приняла предложение ВАГО и Астросовета провести конференцию в Тбилиси и способствовала

совместно с рядом других организаций ее успешной работе.

На конференцию собралось около 260 человек из 37 городов страны. Среди них были академик В. А. Амбарцумян, академик АН ГрузССР Е. К. Харадзе, члены-корреспонденты АН СССР Э. Р. Мустель, В. А. Крат, И. С. Шкловский и другие.

Первое пленарное заседание посвящалось 500-летию юбилею великого польского астронома Николая Коперника. В своем докладе президент ВАГО профессор Д. Я. Мартынов выделил из многогранной деятельности ученого те стороны, на которые обычно мало обращают внимания, — связь Коперника с культурным миром на родине и в Италии, истоки нового взгляда на строение Солнечной системы, доказательство гелиоцентрической системы в основном труде Коперника.

Собравшиеся в Тбилиси ученые с большим интересом выслушали доклад о развитии астрономии в Грузии. Академик АН ГрузССР Е. К. Харадзе, недавно избранный вице-президентом Академии наук Грузинской ССР, познакомил участников конференции с достижениями Абастуманской астрофизической обсерватории, плодотворно работающей уже более 40 лет. Основное научное направление в тематике обсерватории — физика звезд и межзвездной материи, изучение строения Галактики. Вместе с тем, в обсерватории ведутся исследования процессов, происходящих на Солнце, изучение природы планет, поиски и наблюдения комет. Астрономы Абастуманской обсерватории широко применяют методы фотоэлектрической фотометрии, электрон-

но-оптические преобразователи, ими созданы оригинальные приборы для изучения поляризации небесных тел. Обсерватория оснащена 70-сантиметровым менисковым телескопом Максудова с объективной призмой, 50-сантиметровым рефлектором (АЗТ-14), 36-сантиметровым анаберрационным телескопом Шмидта со светосилой 1:1,75, 40-сантиметровым рефрактором Цейсса, 33-сантиметровым рефлектором, горизонтальным солнечным телескопом (АЦУ-5), хромосферно-фотосферным телескопом, внеатомным коронографом типа Лио и другими приборами. Скоро на обсерватории будет установлен 125-сантиметровый рефлектор.

Перспективы использования в нашей стране крупных инструментов обсуждались на одном из заседаний астрономической секции*. Заместитель директора Шемахинской астрофизической обсерватории З. А. Исмаилов рассказал о работах, ведущихся на 2-метровом рефлекторе. С этим инструментом исследуются спектры магнитных звезд и атмосферы планет.

Доктор физико-математических наук Л. В. Мирзоян посвятил свое выступление новому телескопу Бюраканской обсерватории, строительство которого уже заканчивается. Этот телескоп — близнец 2,6-метрового рефлектора Крымской астрофизической обсерватории. Оба телескопа созданы Ленинградским оптико-механиче-

* Работа геодезической секции освещена в статье Л. С. Хренова, опубликованной в этом номере журнала. (Прим. ред.)



ским объединением. Разумеется, при изготовлении нового рефлектора был учтен опыт работы предыдущего и введены усовершенствования. На Бюраканской обсерватории под руководством академика В. А. Амбарцумяна изучаются далекие галактики, активность ядер галактик и квазаров, вспыхивающие звезды, звездные ассоциации. Для таких исследований необходим крупный телескоп. С его вводом в действие возможности обсерватории, уже прославившей себя открытием новых классов объектов (звездные ассоциации, галактики Маркаряна), расширятся во много раз.

В докладе кандидата физико-математических наук И. Д. Караченцева основное внимание было уделено программе исследований на крупнейшем в мире 6-метровом телескопе Специальной астрофизической обсерватории. Планируются работы по внегалактической астрономии (в тесной связи с релятивистской космологией), по физике звезд и туманностей, физике планет. В дальнейшем оборудование обсерватории пополнится еще одним телескопом с диаметром зеркала 2,6 м и другими инструментами, снабженными самыми совершенными светоприемниками. Доклады вызвали оживленную дискуссию. Выступления касались в основном тематики работ, кооперирования исследований, проводимых в нескольких обсерваториях, и применения новых типов светоприемников (электронно-оптические преобразователи, инфракрасные спектрометры, телевизионные трубки и так далее).

На других заседаниях астрономической секции обсуждались достижения и задачи современной астроно-

мии. Солнцу, солнечной активности и влиянию солнечных процессов на земные явления посвятили свои доклады академик А. Б. Северный, член-корреспондент АН СССР В. А. Крат, член-корреспондент АН СССР Э. Р. Мустель и кандидат физико-математических наук М. Н. Гневышев.

На конференции развернулась дискуссия по вопросам внегалактической астрономии и космологии. С докладами выступили известные специалисты в этой области. Доктор физико-математических наук Я. Э. Эйнасто рассказал об эволюции галактик, доктор физико-математических наук Л. М. Озерной — о природе активности ядер галактик и квазаров.

В докладе академика Я. Б. Зельдовича и доктора физико-математических наук Р. А. Сюняева были освещены проблемы современной космологии. Очень интересный доклад об успехах рентгеновской астрономии сделал член-корреспондент АН СССР И. С. Шкловский.

Много внимания на конференции уделялось происхождению, внутреннему строению и эволюции звезд. Академик В. А. Амбарцумян посвятил доклад вспыхивающим звездам, исследование которых помогает лучше понять физику и происхождение звезд. Об интересе, проявленном участниками конференции к этой проблеме, можно судить по многочисленным вопросам: «Наблюдаются ли вспыхивающие звезды в двойных системах?», «Что происходит с этими звездами между вспышками?», «Каков интервал между вспышками?» и так далее.

Доктор физико-математических наук А. Г. Масевич рассказала о внут-

реннем строении и эволюции звезд. Выступив после ее доклада, И. С. Шкловский остановился на проблеме нейтрино. Ученые до сих пор не знают, куда исчезают солнечные нейтрино, образующиеся при ядерных реакциях. Предложено несколько механизмов их потери или превращения, но пока ни один нельзя признать установленным. С докладом о двойных звездах как ускорителях эволюции на разных ее этапах выступил профессор Д. Я. Мартынов.

Проблемы небесной механики были затронуты в докладе доктора физико-математических наук Г. А. Чеботарева. Доктор физико-математических наук И. Д. Жонголович рассказал об исследованиях в области космической геодезии. В докладе доктора физико-математических наук В. В. Подобеда и кандидата физико-математических наук В. В. Нестерова были изложены представления о Земле как планете с позиций современной астрометрии. Кандидат физико-математических наук В. Ф. Лобанов познакомил собравшихся с результатами лазерной локализации Луны.

Подводя итоги конференции, президент ВАГО профессор Д. Я. Мартынов отметил ее несомненный успех и пользу проведения таких форумов для обсуждения кардинальных проблем современной науки и состояния астрономических исследований по ведущим направлениям в нашей стране. Этот вывод был подтвержден на следующий день специальным решением III пленума Центрального совета ВАГО, состоявшегося в Тбилиси.

Кандидат физико-математических наук
В. А. БРОНШТЭН

Обсуждение проблем геодезии

Обсуждение актуальных проблем геодезии на пленарном заседании конференции началось с доклада «Основные направления топографо-геодезических работ в стране» первого заместителя начальника Главного управления геодезии и картографии при Совете Министров СССР Л. А. Кашина. В докладе рассказывается об успехах государственной геодезической службы страны. К настоящему времени на всей территории СССР создана астрономо-геодезическая сеть (АГС), состоящая из триангуляции разных классов точности. Нивелирование I и II классов проходит через все уровенные пункты, расположенные на побережьях наших восточных и северных морей. Все это позволило составить карту современных движений земной коры европейской части СССР и совместно с геодезистами социалистических стран организовать работу по составлению аналогичной карты Восточной Европы. По темпам и объему топографо-геодезических работ СССР занимает одно из первых мест в мире. Интересы развивающегося народного хозяйства ставят новые важные задачи перед геодезической службой нашей страны.

Истории геодезии в Грузии был посвящен доклад Р. И. Чекуришвили. Основоположник картографии в Грузии, известный ученый-географ Вахушти Багратиони (около 1696—1772) создал в 1735—1744 годах два оригинальных атласа, сохранившихся до нашего времени. Началом же развития геодезической науки в Грузии, по мнению докладчика, следует считать первую половину XIX века, со времени присоединения Грузии к России. В 1803

году впервые на территории Грузии начали проводиться топографические съемки на больших площадях. В этом заслуга известных геодезистов И. И. Ходзько (1800—1881), А. В. Пастухова (1860—1899), И. И. Стебницкого (1832—1897) и других. По материалам съемок была выполнена одна из первых достоверных карт Кавказа. Макет карты, бережно сохраненный грузинскими специалистами, экспонируется в Тбилисском государственном университете как памятник первопроходцам.

На заседании геодезической секции с докладом «О жизни и научном наследии в области астрономии, геодезии и картографии ученого средневековья Бируни (973—1048)» * выступил Л. С. Хренов.

В. М. Сигалов в своем докладе рассказал о геодезических работах на первом в стране геодинимическом полигоне, созданном на территории Казахской ССР, в северном Тянь-Шане. Его границы установлены после анализа сейсмической активности, геологоморфологического и тектонического строения района. Полигон состоит из регионального (площадь 60 тыс. км²), оконтуренного изосейстами высшего балла, и малого, заложенного в 1967 году в Алма-Ате. Высший балл предназначен для изучения вертикальных составляющих современных движений земной коры, а малый — для изучения вертикального движения путем ежегодных нивелировок I класса и горизонтальных составляющих

движения земной коры. Согласно разработанной программе, предусмотрено два цикла нивелировок (в 1970—1972 и в 1973—1975 годах) по линиям, проходящим вблизи эпицентров крупнейших землетрясений.

Полученные на геодинимическом полигоне числовые характеристики послужат важным дополнением к существующим сведениям о природе и характере современных движений земной коры и их связи с сейсмичностью.

Большое внимание участники конференции уделили рассмотрению вопросов, связанных с изучением Луны, Земли и Марса по фотографическим снимкам, в частности, определению селенографических координат «Лунохода-1».

В докладе В. Д. Большакова, Н. П. Лавровой и Н. М. Волкова «Научные результаты обработки фотосъемки Луны и Земли с автоматических межпланетных станций «Зонд-5, -6, -7, -8» сообщалось о съемочных автоматических оптико-электронных системах, обосновывались режимы фотохимической обработки космических снимков Луны, рассказывалось о методике создания карт яркости Земли и Луны, а также о дешифрировании космических снимков *.

Определению селенографических координат «Лунохода-1» посвятили свой доклад В. Н. Баринев, А. Н. Кузнецов и И. И. Вдовенко. Они рассмот-

* О жизни и творчестве Абу Райхана Бируни см. подборку статей, опубликованных в этом номере журнала. (Прим. ред.)

* В. Д. Большаков, Н. П. Лаврова. Научный фотографический эксперимент космических станций «Зонд». «Земля и Вселенная», № 5, 1972 г.



рели устройство «оптической вертикали» МИИГАиК (ОВМ-1), установленной на «Луноходе-1» и снабженной телефотометром. Во время работы «Лунохода-1» на поверхности Луны показания ОВМ-1, а также изображения Солнца и Земли могли передаваться телефотометром на пункт космической связи. Докладчики изложили теоретические предпосылки использования панорам с изображениями Солнца, Земли и показаний ОВМ-1 для определения селенографических координат «Лунохода-1» по зенитным расстояниям, разностям азимутов Солнца и Земли.

О методе создания фотокарт лунной поверхности сообщили Г. Д. Федорук, Б. В. Краснопевцев и Н. И. Константинова. Они подчеркнули, что в настоящее время широкое распространение получают дистанционные методы исследования Земли и других планет. В этих методах особое значение приобретают карты и фотокарты поверхности объекта, выполненные по материалам космических съемок. Составление таких карт на приборах, применяемых для обработки материалов плановой аэросъемки, встречает затруднения, которые вызваны значительным влиянием кривизны поверхности объекта в пределах каждого снимка или стереопары. В Московском институте инженеров геодезии, картографии и аэрофотосъемки разработана особая методика построения карт; она применялась для создания фотокарт по материалам съемок Луны с автоматических межпланетных станций типа «Зонд». Докладчики привели некоторые результаты фотограмметрической обработки съемок Луны со станций «Зонд» и по-

казали пути организации сети опорных точек, необходимых для составления карт по материалам последующих съемок.

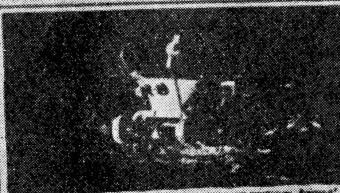
С докладом «Состояние и вопросы картографирования планеты Марс» выступили Ю. Г. Карпушин и С. В. Лебедев. Они рассказали о задачах геодезического изучения планет Солнечной системы и об основных результатах картографирования Марса, о визуальных и фотографических наблюдениях планеты с Земли, о радиолокационных и спектроскопических измерениях, фотографических измерениях Марса с борта космического аппарата. Особое место в докладе отведено результатам наблюдений прямыми методами со станций «Марс» и «Маринер». Коллектив авторов — Б. Н. Родионов, Б. В. Непоклонов, В. В. Киселев и другие — представил доклад «Топографические съемки на лунной поверхности с советских автоматических космических аппаратов». В докладе подробно говорится, как изучение топографии Луны обогащало научные представления о ее природе. Доклад содержит детальные сведения о топографических съемках, произведенных непосредственно на лунной поверхности советскими автоматическими станциями «Луна-9, -13» и самоходной лабораторией «Луноход-1». По материалам съемки с «Луны-9» составлен первый сверхкрупномасштабный план участка Луны. На плане показаны детали поверхности размером в несколько миллиметров, а рельеф изображен с точностью $\pm 2,5$ см. Топографическая схема местности, по которой прошел «Луноход-1», позволяет, как отмечено в докладе, рассматривать совокупность

элементов лунной поверхности, выявлять приуроченность некоторых из них к характерным образованиям, определять статистические характеристики распределения образований на поверхности. А топографические планы с сечением горизонталями через 10—50 см, составленные по материалам телевизионной съемки, выполненной на маршруте «Лунохода-1», дают возможность с большой достоверностью получать числовые характеристики элементов рельефа (уклоны местности, крутизну склонов кратеров и прочее). В докладе изложена теория панорамной съемки, произведенной со станции «Луна-9» и лаборатории «Луноход-1», а также методика фотограмметрической обработки изображений.

Ряд докладов на геодезической секции был посвящен вопросам инженерной геодезии. О состоянии и путях дальнейшего совершенствования инженерно-геодезических работ в народном хозяйстве сообщил В. Ф. Черников. Современный уровень индустриализации строительного производства предъявляет повышенные требования к геодезическим работам. Для удовлетворения этих требований, по мнению докладчика, необходимы автоматические системы получения топографической информации для проектирования инженерных сооружений (в том числе и городов).

В докладе М. Н. Тевзадзе «О развитии научных исследований в Грузии» подробно освещена научная работа кафедр геодезии вузов республики, среди которых ведущее положение занимает кафедра геодезии и маркшейдерии Грузинского политехнического института имени В. И. Лени-

ТОПОГРАФИЧЕСКИЙ ПЛАН ТРАССЫ ДВИЖЕНИЯ „ЛУНОХОДА-1“



Роботизированный аппарат „Луноход-1“

17 ноября 1970 года автоматическая станция „Луна-17“ совершила успешный посадку на поверхность Луны в районе моря Двинь. Селеностанция совершила много посадок на Луну.

Станция доставила на Луну аппаратура первой в мире автоматической селеностанции „Луноход-1“.

Прогресс его научных исследований предусматривает исследование селеностанцией поверхности в качестве передвижной научной лаборатории и изучения как особенностей Луны, так и процессов космического пространства.

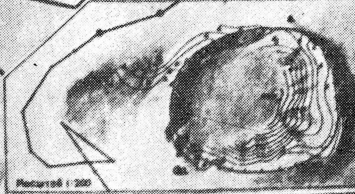
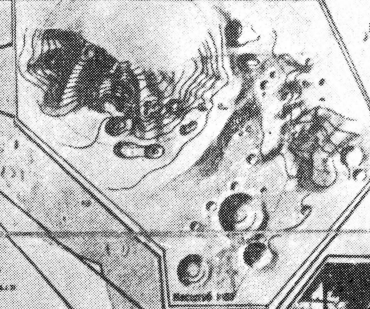
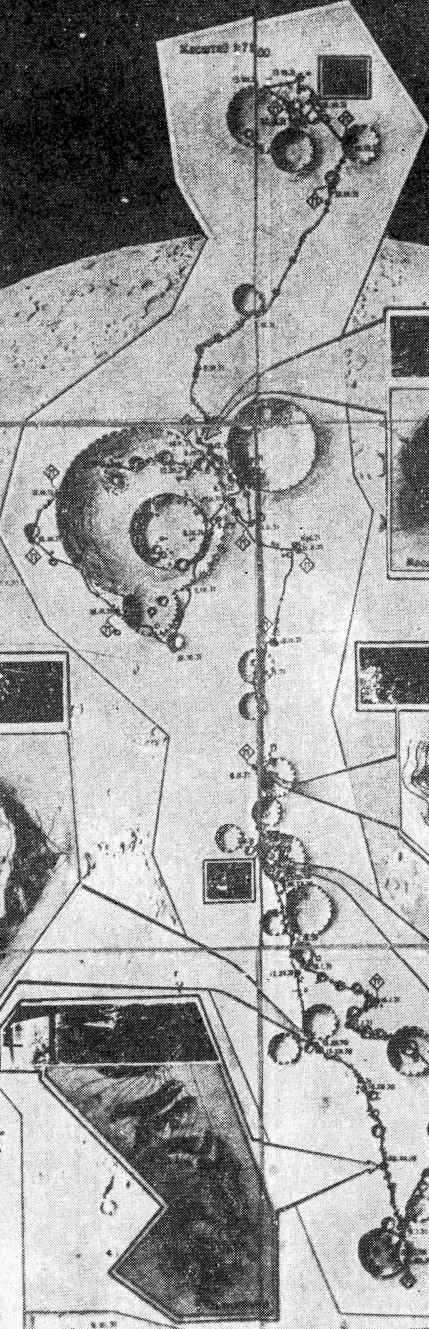
На высоте с максимальной мощностью „Луноход-1“ в среднем расстояние в 10,5 км, что позволяет детально обследовать лунную поверхность на площади 50 тысяч квадратных метров. Сила тяги, обеспечиваемая „Луноход-1“, составляет более 500 тысяч динамических единиц.

Для этого с помощью телевизионной системы селеностанции аппарат был оборудован 710 телевизионными камерами в своем 70 000 метровом корпусе. В течение работы „Луноход-1“ было произведено 557 кадров панорамных изображений с поверхности Луны с целью изучения его рельефа, геологических свойств, в 25 километрах от поверхности лунной поверхности.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- 1. Место посадки „Луноход-1“
- 2. Место посадки „Луна-17“
- 3. Место посадки „Луноход-1“
- 4. Место посадки „Луноход-1“
- 5. Место посадки „Луноход-1“
- 6. Место посадки „Луноход-1“
- 7. Место посадки „Луноход-1“
- 8. Место посадки „Луноход-1“
- 9. Место посадки „Луноход-1“
- 10. Место посадки „Луноход-1“
- 11. Место посадки „Луноход-1“
- 12. Место посадки „Луноход-1“
- 13. Место посадки „Луноход-1“
- 14. Место посадки „Луноход-1“
- 15. Место посадки „Луноход-1“
- 16. Место посадки „Луноход-1“
- 17. Место посадки „Луноход-1“
- 18. Место посадки „Луноход-1“
- 19. Место посадки „Луноход-1“
- 20. Место посадки „Луноход-1“
- 21. Место посадки „Луноход-1“
- 22. Место посадки „Луноход-1“
- 23. Место посадки „Луноход-1“
- 24. Место посадки „Луноход-1“
- 25. Место посадки „Луноход-1“
- 26. Место посадки „Луноход-1“
- 27. Место посадки „Луноход-1“
- 28. Место посадки „Луноход-1“
- 29. Место посадки „Луноход-1“
- 30. Место посадки „Луноход-1“
- 31. Место посадки „Луноход-1“
- 32. Место посадки „Луноход-1“
- 33. Место посадки „Луноход-1“
- 34. Место посадки „Луноход-1“
- 35. Место посадки „Луноход-1“
- 36. Место посадки „Луноход-1“
- 37. Место посадки „Луноход-1“
- 38. Место посадки „Луноход-1“
- 39. Место посадки „Луноход-1“
- 40. Место посадки „Луноход-1“
- 41. Место посадки „Луноход-1“
- 42. Место посадки „Луноход-1“
- 43. Место посадки „Луноход-1“
- 44. Место посадки „Луноход-1“
- 45. Место посадки „Луноход-1“
- 46. Место посадки „Луноход-1“
- 47. Место посадки „Луноход-1“
- 48. Место посадки „Луноход-1“
- 49. Место посадки „Луноход-1“
- 50. Место посадки „Луноход-1“
- 51. Место посадки „Луноход-1“
- 52. Место посадки „Луноход-1“
- 53. Место посадки „Луноход-1“
- 54. Место посадки „Луноход-1“
- 55. Место посадки „Луноход-1“
- 56. Место посадки „Луноход-1“
- 57. Место посадки „Луноход-1“
- 58. Место посадки „Луноход-1“
- 59. Место посадки „Луноход-1“
- 60. Место посадки „Луноход-1“
- 61. Место посадки „Луноход-1“
- 62. Место посадки „Луноход-1“
- 63. Место посадки „Луноход-1“
- 64. Место посадки „Луноход-1“
- 65. Место посадки „Луноход-1“
- 66. Место посадки „Луноход-1“
- 67. Место посадки „Луноход-1“
- 68. Место посадки „Луноход-1“
- 69. Место посадки „Луноход-1“
- 70. Место посадки „Луноход-1“
- 71. Место посадки „Луноход-1“
- 72. Место посадки „Луноход-1“
- 73. Место посадки „Луноход-1“
- 74. Место посадки „Луноход-1“
- 75. Место посадки „Луноход-1“
- 76. Место посадки „Луноход-1“
- 77. Место посадки „Луноход-1“
- 78. Место посадки „Луноход-1“
- 79. Место посадки „Луноход-1“
- 80. Место посадки „Луноход-1“
- 81. Место посадки „Луноход-1“
- 82. Место посадки „Луноход-1“
- 83. Место посадки „Луноход-1“
- 84. Место посадки „Луноход-1“
- 85. Место посадки „Луноход-1“
- 86. Место посадки „Луноход-1“
- 87. Место посадки „Луноход-1“
- 88. Место посадки „Луноход-1“
- 89. Место посадки „Луноход-1“
- 90. Место посадки „Луноход-1“
- 91. Место посадки „Луноход-1“
- 92. Место посадки „Луноход-1“
- 93. Место посадки „Луноход-1“
- 94. Место посадки „Луноход-1“
- 95. Место посадки „Луноход-1“
- 96. Место посадки „Луноход-1“
- 97. Место посадки „Луноход-1“
- 98. Место посадки „Луноход-1“
- 99. Место посадки „Луноход-1“
- 100. Место посадки „Луноход-1“



Гравитационное поле Луны и топографический план Луны

Москва - 1970 г.



на, организованная профессором А. М. Бенашвили (1868—1941).

О современных задачах геодезического обеспечения геофизических исследований доложили А. Г. Прихода, Г. Г. Белецкий и И. И. Левин. Они отметили необходимость разработки в геологических организациях тематики научных исследований, связанной с совершенствованием приборов и методов. Новые приборы и методы особенно необходимы в связи с геодезическими исследованиями, интенсивно проводимыми в труднодоступных районах Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера. Новая аппаратура требуется и для аэрогеофизической

съемки с малых высот и при использовании искусственных спутников Земли в комплексе с наземными, морскими и авиационными средствами.

В докладе Г. М. Гринберга «Уравнение геодезических построений Земли в комплексе с наземными, морскими и авиационными средствами» рассмотрены вопросы повышения точности астрономо-геодезической сети, созданной на территории СССР.

Ряд выступлений на секции касался геодезических инструментов, применяемых в практике инженерной геодезии. А. И. Спиридонов в докладе «Стандартизация геодезических инструментов» дал обстоятельную характеристику «Государственным стандартам на геодезические инструменты».

А. А. Генике в докладе «Современное состояние и перспективы развития сетевых и радиодальномерной техники» привел данные о существующей и разрабатываемой аппаратуре не только в СССР, но и за рубежом.

А. И. Демушкин рассказал о созданной в МИИГАиК фотоэлектрической насадке на теодолит ОТ-2, повышающей точность визирования в ночное и дневное время.

А. В. Зацаринный и И. А. Науменко посвятили основную часть своего доклада решению одной из актуальнейших задач инженерной геодезии — контролю прямолинейного направления большой протяженности.

В докладе Г. К. Бесчасного «Новые разработки приборов для применения в инженерной геодезии и маркшейдерском деле» основное внимание уделено оптико-механическим приборам, появившимся в последнее время в СССР и за рубежом, в частности, различным вариантам приборов для линейных измерений, разработанных

Всесоюзным научно-исследовательским институтом горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ).

Муаровый эффект в инженерно-геодезических измерениях составил тему доклада Н. Н. Лебедева и Д. П. Баркова.

А. С. Лукин в докладе «О построении строительных сеток методом четырехугольников» изложил технологию создания такой сетки для строительства Камского автомобильного завода. А. К. Плахтий представил доклад «О геодезических производственно-информационных системах геодезических служб в городах».

Тематика заслушанных на пленарном заседании и на геодезической секции докладов свидетельствует о значительном прогрессе геодезической науки и техники, их возросшей роли среди наук о Земле (изучение современных движений земной коры, шельфовой зоны Мирового океана, исследование космического пространства) и в других отраслях знаний.

**Профессор
Л. С. ХРЕНОВ**

Топографический план трассы движения «Лунохода-1» (Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. Академия наук СССР, М., 1972 г.). Программа научных исследований первого в мире автоматического самоходного аппарата «Луноход-1» предусматривала использование автоматического аппарата в качестве передвижной научной лаборатории и включала исследования лунной поверхности и изучение космического пространства. За десять с половиной месяцев работы «Луноход-1» прошел расстояние 10 540 м, что позволило детально обследовать лунную поверхность на площади 80 000 м². Для этого телевизионными системами самоходного аппарата получено 210 высококачественных панорам и свыше 20 000 снимков поверхности. По трассе движения «Лунохода-1» произведено 537 циклов пенетрирования поверхностного слоя лунного грунта с целью определения его физико-механических свойств. В 25 точках трассы выполнен анализ химического состава грунта



АСТРОНОМИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

Преподаватели астрономии педагогических институтов повышают квалификацию

Решениями XXIV съезда КПСС предусматривается в 9-й пятилетке переход ко всеобщему среднему образованию. Выполнение этой важнейшей задачи возлагается на учительские коллективы советской средней школы.

Как правило, учителя школ — воспитанники педагогических институтов. Преподавательские кадры этих вузов призваны готовить учителей, безраздельно преданных идеям нашей партии, высокообразованных, владеющих знаниями современной науки и техники. Это обязывает работников педвузов систематически совершенствовать свой уровень культуры, быть в курсе достижений науки сегодняшнего дня.

Партия и правительство уделяют большое внимание повышению квалификации работников высших учебных заведений. При ведущих вузах создана сеть институтов повышения квалификации преподавателей высших учебных заведений и учителей средней школы. В частности, при Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова организован факультет повышения квалификации преподавателей вузов, на котором с 1968 года функционирует группа астрономической специальности.

В астрономическую группу зачисляются преподаватели астрономии педагогических институтов. Занятия проводятся с 7 февраля по 5 июня, ежедневно по 6 часов. Среди дисциплин, включенных в учебный план, — общая астрономия, астрометрия, практическая астрофизика, небесная механика, основы гравиметрии, физика Солнца, физика планет, галактическая и внегалактическая астрономия, физика звезд и меж-

звездной среды, внеатмосферная астрономия, космология, история астрономии. Читают лекции и проводят консультации профессора и доценты университета: И. С. Шкловский, Б. В. Кукаркин, В. И. Мороз, Н. С. Кардашев, А. Л. Зельманов, П. Г. Куликовский и другие. Помимо основной учебной работы, организуются специальные экскурсии на обсерватории и в другие научные учреждения. Цикл обучения заканчивается сдачей четырех зачетов и написанием реферата. Из отзывов преподавателей, прошедших переподготовку, можно сделать вывод, что эта система повышения квалификации весьма полезна. Очень важно, что повышать квалификацию приезжают преподаватели астрономии педагогических институтов из Горно-Алтайска и Душанбе, Архангельска, Тобольска и других городов. Они могут встретиться друг с другом, поговорить, поделиться мнениями, обсудить многие вопросы педагогического процесса.

Ряд преподавателей, занимаясь на факультете повышения квалификации, начали работу над кандидатскими диссертациями. Уже защитили диссертации на степень кандидата физико-математических наук И. М. Панич из Кишиневского университета, Л. С. Братолубова из Магнитогорского педагогического института. В. В. Видакин из Архангельска успешно сдал кандидатский минимум на кафедре небесной механики физического факультета МГУ и заканчивает работу над диссертацией. Готовится к защите диссертации И. И. Бондаренко из Свердловска.

Некоторые преподаватели работают над диссертациями на соиска-

ние ученой степени кандидата педагогических наук по методике преподавания астрономии (в высшей и средней школе). Это важное дело тормозится тем, что в основном только физический факультет Московского государственного педагогического института имени В. И. Ленина принимает к защите подобные диссертации. Однако в ученом совете этого факультета почти нет астрономов, не говоря уже о специалистах в области методики преподавания (таковые отсутствуют даже на кафедре астрономии МГПИ!). Аналогичное положение дел и в Академии педагогических наук СССР, в одном из научно-исследовательских институтов которой иногда происходят защиты диссертаций по методике преподавания астрономии в средней школе. Но ведь известно, что в АПН СССР всего лишь один член-корреспондент астроном и два штатных научных сотрудника, имеющих отношение к астрономии. По нашему мнению, право защиты диссертаций по методике преподавания астрономии должно быть предоставлено компетентному ученому совету. Например, можно было бы использовать для этой цели факультет повышения квалификации преподавателей астрономии при Московском университете.

Задачи совершенствования научно-методической работы настоятельно диктуют также и необходимость создания специального печатного органа (журнала «Астрономическое образование»), посвященного вопросам методики преподавания астрономии в высшей и средней школе.

Профессор
К. А. КУЛИКОВ

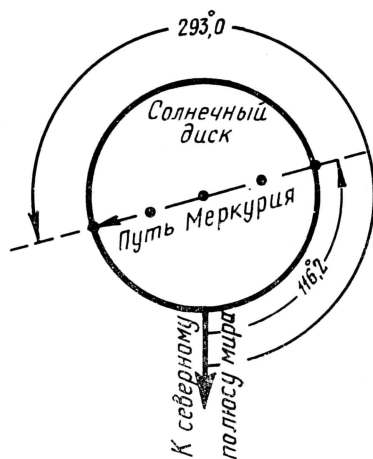
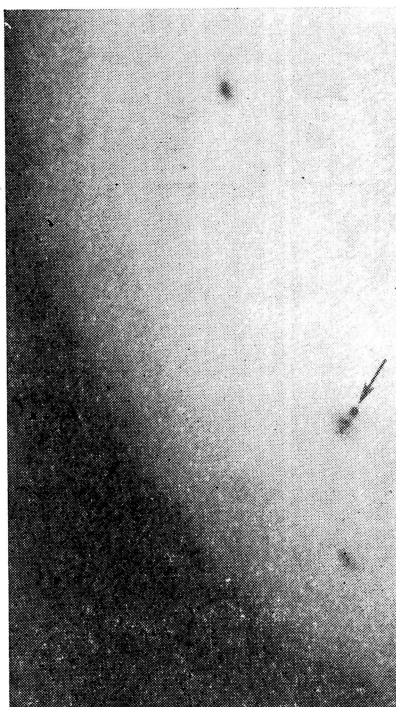


ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ
АСТРОНОМИЯ

Прохождение Меркурия по диску Солнца 10 ноября 1973 года

10 ноября 1973 года в течение 5 часов 30 минут Меркурий будет двигаться вдоль диаметра солнечного диска от восточного края к западному. Прохождение Меркурия смогут наблюдать жители европейской части СССР западнее линии, которая соединяет Астрахань, Саратов, Пензу, Горький, Кострому, Вологду, Петрозаводск. Восточнее этой линии планета сойдет с солнечного диска после захода Солнца. Ни одну фазу явления не удастся наблюдать в местах, лежащих к востоку от линии, которая проходит через Владивосток, Благовещенск, Нагорный, Сутар, Норильск.

Первый контакт (внешнее касание планеты с солнечным диском) наступит в 7 часов 47 минут 55 секунд; второй контакт (внутреннее касание) — в 7 часов 49 минут 35 секунд; третий контакт (внутреннее касание) — в 13 часов 15 минут 34 секунды и четвертый контакт (внешнее касание) — в 13 часов 17 минут 15 секунд. Моменты контактов указаны по Всемирному времени. Чтобы перевести его в декретное, достаточно прибавить номер часового пояса и еще один час. В разных пунктах европейской части СССР моменты контактов могут отличаться от приведенных вы-



Меркурий на диске Солнца 9 мая 1970 года. Снимок получен школьниками из Армавира

Таким будет путь Меркурия по диску Солнца 10 ноября 1973 года при наблюдении в рефрактор

ше моментов на несколько секунд. Обстоятельства прохождения Меркурия по диску Солнца для многих городов приведены в «Астрономическом календаре» на 1973 год.

Меркурий на диске Солнца можно заметить даже в 10-кратный бинокль. В телескоп планету следует наблюдать с максимально возможным увеличением. Напомним, что **смотреть на Солнце в бинокль или телескоп можно только через темный фильтр**. Если прохождение Меркурия наблюдается на экране, прикрепленном к окулярному концу телескопа, то экран нужно защищать от солнечных лучей. При этом изображение Солнца должно быть таким большим, насколько позволяет увеличение инструмента.

Какие исследования могут выполнить любители астрономии, наблюдая прохождение Меркурия по диску Солнца? Для теории движения Меркурия важно точно определить моменты контактов. Имея выверенный хронометр, секундомер и телескоп с часовым механизмом или микрометрическим движением, наблюдатель может получить время контактов. Правда, наблюдениям мешает физиологический эффект зрения — «черная капля», появляющаяся между краем Солнца и Меркурием перед вторым и третьим контактами.

Можно ли заметить Меркурий на фоне неба, когда он сходит с солнечного диска или еще не вступил на него? Наблюдатели в прошлом неоднократно видели Меркурий или часть его на фоне неба, они же отмечали образование яркого ореола вокруг планеты. Эти старые наблюдения любопытно было бы повторить. Рассказом о них подробнее.

8 мая 1878 года Б. Гассельберг в Пулковско наблюдает проходжение Меркурия в телескоп со спектроскопом. Он увидел планету на фоне солнечной хромосферы за две минуты до первого контакта.

8 мая 1924 года в Ленинграде проходжение Меркурия по диску Солнца наблюдали Н. П. Шанин через рубиновый фильтр в 175-миллиметровый телескоп и Н. Грибанов, А. А. Крымов, В. А. Энгельке на экране, установленном у 108-миллиметрового телескопа. Все четверо видели при сходе Меркурия часть планетного диска на фоне неба. Возможно, планета проецировалась на яркий протуберанец. В то же время Ф. де Руа и Л. Кап в Антверпене при более низком положении Солнца не заметили планеты вне Солнца, когда та сходилa с солнечного диска. Л. Кап наблюдал после третьего контакта, как внезапно вокруг планеты образовался ореол шириной около 2" дуги. Ореол был виден 26 секунд.

Ореол у Меркурия наблюдался и во время проходжения 10 ноября 1927 года. На протяжении 1,5—2 секунд его видел ленинградский астроном-любитель И. И. Гусев после того, как Меркурий сошел с Солнца на $\frac{2}{3}$ своего диска. На экране, прикрепленном к окуляру 108-миллиметрового телескопа, диаметр планеты составлял 7 мм, а ширина ореола — 0,1 мм. Ореол был ярко-желтый вне солнечного диска и зеленоватый на Солнце. Некоторое время спустя И. И. Гусев увидел Меркурий на фоне неба. Он выглядел как бурый диск без ореола.

9 мая 1970 года запорожский любитель астрономии В. А. Кривошей наблюдал проходжение Меркурия на

экране, установленном у окуляра 75-миллиметрового телескопа. Во время схождения Меркурия с диска Солнца он видел на фоне неба часть планеты в форме размытых «рожков».

Для любителей астрономии, которые располагают большими инструментами, программу наблюдений составил известный исследователь планет В. В. Шаронов. Он рекомендует измерить микрометром или гелиометром угловой диаметр Меркурия на фоне фотосферы. Желательно определять два диаметра планеты, один из которых перпендикулярен орбите Меркурия, а другой — параллелен ей. Вероятно, тогда удастся установить, имеет ли планета сжатие.

С большим телескопом можно выполнить детальную зарисовку и описание всех явлений, сопровождающих сход (а если получится, и вступление) Меркурия с диска Солнца. Задача таких наблюдений — поиски следов рефракционных эффектов, которые порождаются разреженной атмосферой, возможно, существующей у Меркурия. Наблюдения следует проводить с большим увеличением и в хороших атмосферных условиях.

А. М. БАХАРЕВ
В. М. ЧЕРНОВ

ПОПРАВКА

В заметке о трансплутонической планете, опубликованной на стр. 47 предыдущего номера нашего журнала, следует читать «...оборот вокруг Солнца за 464 года».

Орган Секции физико-технических и математических наук, Секции наук о Земле Президиума Академии наук СССР и Всесоюзного астрономического общества

Редакционная коллегия:

Главный редактор доктор физ.-мат. наук Д. Я. МАРТЫНОВ
Зам. главного редактора кандидат физ.-мат. наук М. Г. КРОШКИН
Ответственный секретарь кандидат пед. наук Е. П. ЛЕВИТАН
Член-корреспондент АН СССР Г. А. АВСЮК, доктор географических наук А. А. АКСЕНОВ, кандидат физ.-мат. наук В. А. БРОНШТЭН, член-корреспондент АН СССР Ю. Д. БУЛАНЖЕ, доктор техн. наук А. А. ИЗOTOB, доктор физ.-мат. наук И. К. КОВАЛЬ, доктор географических наук В. Г. КОРТ, доктор физ.-мат. наук Р. В. КУНИЦКИЙ, доктор физ.-мат. наук Б. Ю. ЛЕВИН, кандидат физ.-мат. наук Г. А. ЛЕЙКИН, академик А. А. МИХАЙЛОВ, доктор физ.-мат. наук И. Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук К. Ф. ОГОРОДНИКОВ, доктор физ.-мат. наук Г. Н. ПЕТРОВА, доктор геол.-мин. наук Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук В. В. РАДЗИЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук Ю. А. РЯБОВ, доктор техн. наук К. П. ФЕОКТИСТОВ, доктор геол.-мин. наук Ю. М. ШЕЙНМАНН

Адрес редакции: 117333, Москва, Ленинский пр., д. 61/1
тел. 135-64-81 135-63-08

Художественный редактор
Л. Я. Шимкина

Корректоры: Г. Н. Нелидова
А. Н. Федосеева

T-12486 Сдано в набор 30/VI-1973 г.
Подписано в печать 18/IX 1973 г. Формат
бум. 84×108 $\frac{1}{16}$. Печ. л. 5,0 (8,4). Уч.-
изд. л. 9,8 Тираж 50,000 экз.
Цена 40 коп. Заказ 2571

При перепечатке ссылка на журнал
«Земля и Вселенная» обязательна.

2-я типография издательства «Наука», Москва,
Г-99, Шубинский пер., 10.

Читайте

в следующих номерах:

Академик А. П. ВИНОГРАДОВ

**ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС
И ЗАЩИТА БИОСФЕРЫ**

Академик С. С. ШВАРЦ

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ОХРАНЫ БИОСФЕРЫ**

Академик В. А. АМБАРЦУМЯН

ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ

Летчик-космонавт СССР, кандидат техни-
ческих наук Е. В. ХРУНОВ

**«СОЮЗ» и «АПОЛОН» —
СОВМЕСТНЫЕ
ЭКСПЕРИМЕНТЫ**

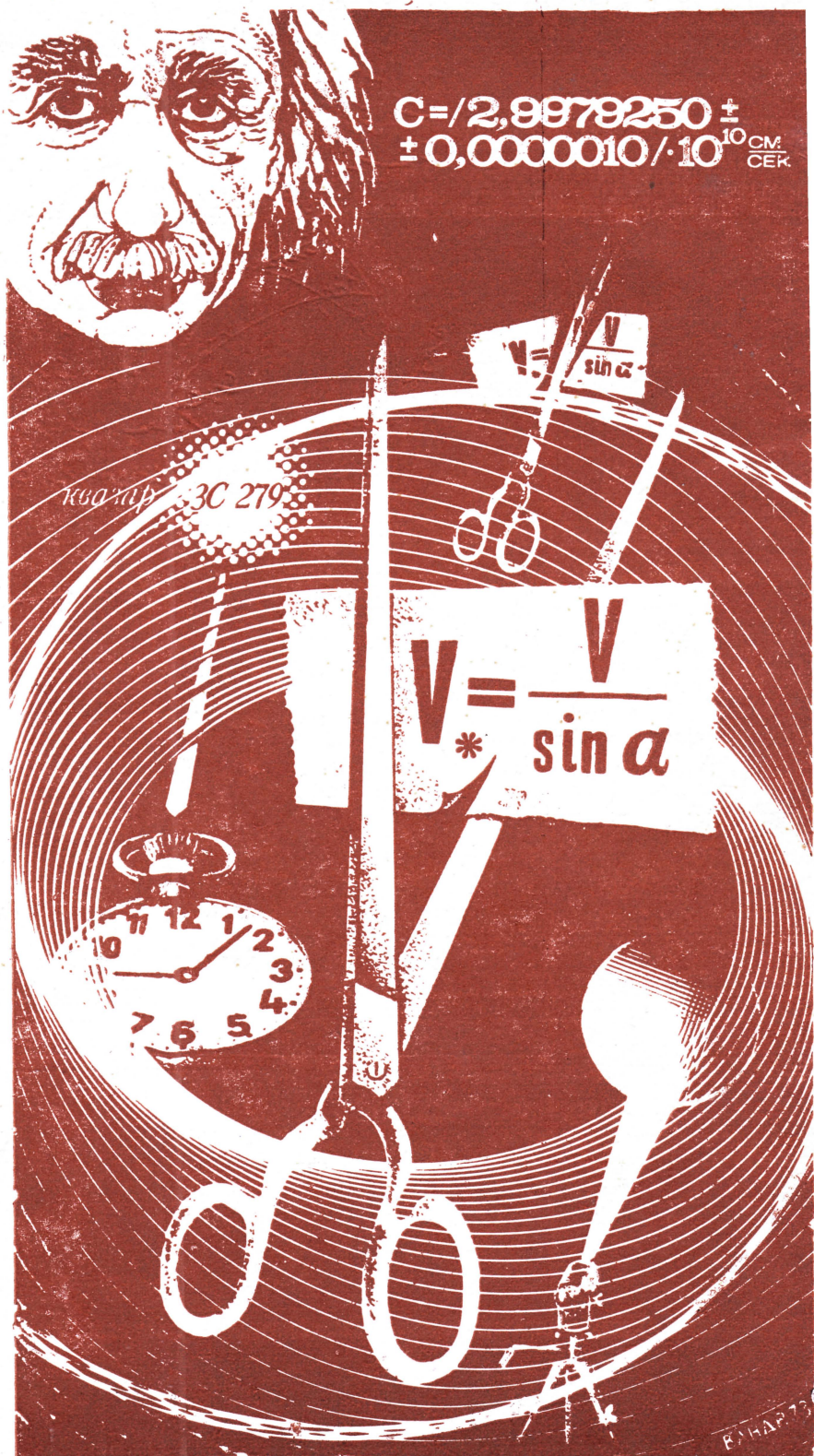
Л. Э. УЛАНОВСКИЙ

**ВОЗМОЖНЫ ЛИ
СКОРОСТИ ВЫШЕ ►
СКОРОСТИ СВЕТА**

Д. А. ЛУНЕН

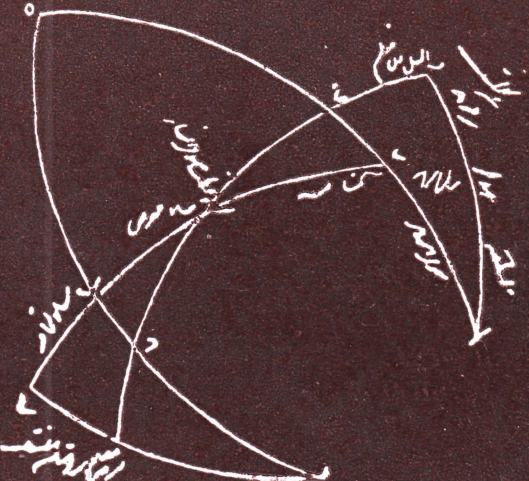
**КОСМИЧЕСКИЙ ЗОНД
ОТ «ВОЛНАСА»?**

**Дорогие читатели!
Не забудьте оформить
подписку на журнал
«Земля и Вселенная»
на 1974 г.**



[illegible]

والتبارة من الله سبحانه وتعالى
ما من شيء إلا وله أثر
كذلك الخلق من الله
أثره من الله عز وجل
التي لا تزل من الله عز وجل



ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА“

ЦЕНА 40 КОП
ИНДЕКС 70336